

LUCIANA CRISTINA BRIGATTO FONTES

**EFEITO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E COBERTURAS  
COMESTÍVEIS NA QUALIDADE DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE  
ELABORADO PELO PROCESSO DE FRITURA POR IMERSÃO**

CAMPINAS

2009





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**



**EFEITO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E COBERTURAS  
COMESTÍVEIS NA QUALIDADE DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE  
ELABORADO PELO PROCESSO DE FRITURA POR IMERSÃO**

**Luciana Cristina Brigatto Fontes**

Engenheira Agrônoma  
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Paula Collares Queiroz**

Orientadora

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do Título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

**Campinas - SP**

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

F737e Fontes, Luciana Cristina Brigatto  
Efeito de desidratação osmótica e coberturas comestíveis na  
qualidade de chips de batata-doce elaborado pelo processo de fritura  
por imersão / Luciana Cristina Brigatto Fontes. -- Campinas, SP: [s.n.],  
2009.

Orientador: Fernanda Paula Collares Queiroz  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade  
de Engenharia de Alimentos

1. Chips. 2. Batata doce. 3. Desidratação osmótica. 4.  
Cobertura comestível. 5. Fritura. I. Queiroz, Fernanda Paula  
Collares. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Effect of osmotic dehydration and edible coatings on quality of sweet potato  
chips produced by the process of frying by immersion

Palavras-chave em inglês (Keywords): Chips, Sweet potato, Osmotic dehydration, Edible  
coating, Frying

Titulação: Doutor em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Paula Collares Queiroz

Graziella Colato Antonio

Renata Maria dos Santos Celeghini

Daniela de Grandi Castro Freiras

Jesui Vergílio Visentainer

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

## BANCA EXAMINADORA

---

Profª Drª. Fernanda P. Collares- Queiroz  
Faculdade de Engenharia Química  
UNICAMP  
(Orientadora)

---

Drª Graziella Colato Antonio  
Faculdade de Engenharia Agrícola  
UNICAMP  
(Membro Titular)

---

Drª Renata M. dos Santos Celeghini  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
UNICAMP  
(Membro Titular)

---

Drª Daniela de Grandi C. Freitas  
EMBRAPA/Agroindústria de Alimentos  
Rio de Janeiro  
(Membro Titular)

---

Prof. Dr. Jesuí Vergílio Visentainer  
Departamento de Química  
Universidade Estadual de Maringá  
(Membro Titular)

---

Profª. Drª. Hilary Castle Menezes  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
UNICAMP  
(Membro Suplente)

---

Dr. Renato Grimaldi  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
UNICAMP  
(Membro Suplente)

---

Profª Drª Silene B. Silveira Sarmiento  
Escola Superior de Agricultura Luiz de  
Queiroz - ESALQ/USP  
(Membro Suplente)



**Maria, Maria** (Composição: Milton Nascimento e Fernando Brant)

"Maria, Maria  
É um dom, uma certa magia  
Uma força que nos alerta  
Uma mulher que merece  
Viver e amar  
Como outra qualquer  
Do planeta  
Maria, Maria  
É o som, é a cor, é o suor  
É a dose mais forte e lenta  
De uma gente que rí  
Quando deve chorar  
E não vive, apenas aguenta  
**MAS É PRECISO TER FORÇA**  
**É PRECISO TER RAÇA**  
**É PRECISO TER GANA SEMPRE**  
Quem traz no corpo a marca  
Maria, Maria  
Mistura a dor e a alegria  
Mas é preciso ter manha  
É preciso ter graça  
**É PRECISO TER SONHO SEMPRE**  
Quem traz na pele essa marca  
Possui a estranha mania  
**DE TER FÉ NA VIDA"**

Vó Maria Brigatto (*in memoriam*) esta homenagem é especial a senhora que foi um exemplo de MULHER, HUMANA, HUMILDE, HONESTA. Obrigada por todos seus valiosos ensinamentos! Sinto muito sua falta.



## DEDICATÓRIA

Dedico esta tese com muito carinho:

Aos meus pais **Luiz e Cida**,

Ao meu irmão **Rodrigo**,

À minha cunhada **Daniela**,

Às minhas sobrinhas **Luisa e Laura**



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida, por sempre me proteger e guiar meus caminhos, tornando-os mais fáceis e agradáveis.

Aos meus pais, Luiz e Cida, por todo carinho, dedicação e apoio em todas as fases da minha vida. Obrigada por tudo! Vocês são essenciais e insubstituíveis!

Ao meu irmão Rodrigo e minha cunhada Daniela pelo carinho, apoio, incentivo e por me darem as sobrinhas mais graciosas desse mundo Luisa e Laura a titia ama muito vocês!

Aos meus primos: Alessandra, Edinho e Isabela que estão sempre torcendo por mim. Alê (Amô) obrigada pelas nossas conversas diárias, por ouvir meus desabafos e pelos conselhos sugeridos.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em especial a Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela oportunidade e execução deste trabalho.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Paula Collares Queiroz, pela confiança no transcorrer deste trabalho contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos membros da banca (Dr<sup>a</sup> Daniela de Grandi Castro Freitas, Dr<sup>a</sup> Graziella Colato Antonio, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Hilary Castle de Menezes, Prof<sup>o</sup> Dr. Jesuí Vergilio Visentainer, Dr<sup>a</sup> Renata Maria dos Santos Celeghini, Dr. Renato Grimaldi, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Silene Bruder Silveira Sarmiento) pelas valiosas correções e sugestões realizadas nesta tese.

Aos professores do exame de qualificação, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Hilary Castle de Menezes e Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch, pelas excelentes sugestões para realização desta tese.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio pesquisa (Processo nº 07/53902-0).

Ao Sr. Mauro Brisque e sua esposa, pela atenção e disposição no CEASA na aquisição das batatas-doces.

À Corn Products, em especial ao Walter T. Yamamoto e Guilherme C. Cava, pela doação do xarope de glicose.

À Agropalma, em especial ao Homero Sousa, pela doação da oleína e estearina de palma.

À FMC, em especial a Magali Carrega, pela doação do alginato de sódio.

À DOW, em especial ao Fernando Brea, pela doação da metilcelulose.

À CPKELCO, em especial a Nanci Kaneko, pela doação da pectina.

À INAPEL, em especial a Eliane Simões Santos, pela doação da embalagem.

Ao Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos, em especial ao Prof<sup>o</sup>. Dr. Yoon Kil Chang e a técnica Alessandra, pela utilização do laboratório e equipamentos do laboratório.

Ao Laboratório de Frutas e Hortaliças, em especial ao Prof. Dr. Flávio Luís Schimit e a técnica Ana Koon pela utilização do laboratório, equipamentos e planta piloto.

Ao Laboratório de Óleos e Gorduras, em especial ao Dr. Renato Grimaldi, pelo apoio e sugestões nas análises de oleína e estearina de palma.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), em especial: Aduino, Alice, Bernadete, Beth, Dona Denir, Jaime, Karina, Marlene, Renata, Tânia, Vanessa, Zé Roberto pelo apoio, amizade e colaboração.

À secretaria de pós-graduação, em especial ao Cosme Perota e Marcos Sampaio, pelo apoio, paciência e disposição na parte burocrática.

A Cristiane Rodrigues Gomes e ao Flávio M. Montenegro pela atenção, apoio e liberação das dependências do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e da fritadeira SIRE para realização da parte de otimização do processo de fritura.

Aos alunos de iniciação científica: Felipe Gomes de Oliveira, Kazumi Kawasaki Ramos e Thaís Cristina Sivi pela amizade e dedicação ao projeto. Sem vocês nada teria sido possível!

A Dr<sup>a</sup> Graziella Colato Antonio pela ajuda valiosa e dicas na parte prática de desidratação osmótica.

À Dr<sup>a</sup> Renata Maria dos Santos Celeghini pela disposição em explicar quantas vezes forem necessárias os parâmetros de cor e textura. Obrigada pela paciência!

À Farayde Fakhouri e Larissa Canhadas Bertan pelos ensinamentos na área de filmes e coberturas comestíveis.

À todos os amigos do DTA: Vanessa Rosa, Paula Costa, Leomar Hackbart, , Cristina Takeiti, Ângela Teixeira, Luiza Teixeira, Larissa Bertan, Márcio Schmieli, Adriano Gomes, Veridiana Antunes pela amizade sincera, companheirismo, agradáveis momentos de convivência e incentivo.

À Paula Fernanda Pinto da Costa pela ajuda imensa na parte de formatação e computacional. Salvadora da Pátria nos momentos de desespero!

Às amigas: Fabiana Marchi de Abreu (Fexô), Priscila Karen Sabadin (Bék), Anna Júlia Palioto e Cristiane Cassiolato, que mesmo estando longe sempre me deram muita força e torcem pelo meu sucesso.

À vizinha do Melrose, Pleycienne Ribeiro, por ser minha “companheirona”, sempre me ouvir, ajudar na parte computacional e nas correções do boneco.

À Elaine por cuidar de mim e do meu apartamento com muito carinho, durante os 4 anos que morei em Campinas. Você foi um anjo!

À academia Atlex pelos momentos de descontração e pelos amigos que fiz, em especial, Cynthia Canedo, Dag, Lu Frutal, Marquinho, Vânia, Érica, Tati, Pri, Carlos, Bruninho, Domênico, Simone, Fábio, Vinícius e Carolzinha.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente colaboraram na realização e desenvolvimento deste, que outrora deixei de citar.

O MEU MUITO OBRIGADA!!!

## SUMARIO

LISTA DE FIGURAS .....	xxv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
1. <i>Chips</i> .....	9
2. Desidratação osmótica .....	10
2.1 Características do tecido vegetal .....	14
2.2 Tamanho e espessura do vegetal .....	14
2.3 Composição química da solução osmótica .....	15
2.4 Concentração da solução osmótica .....	18
2.5 Relação entre vegetal e solução .....	18
2.6 Temperatura do processo .....	19
2.7 Tempo de imersão .....	19
2.8 Agitação.....	20
3. Filmes e coberturas biodegradáveis e/ou comestíveis .....	21
3.1. Histórico.....	22
3.2. Métodos de elaboração.....	22
3.3. Características dos biofilmes .....	26
3.3.1. Espessura.....	26
3.3.2. Solubilidade em água.....	27
3.3.3. Sabor e aroma .....	27
3.3.4. Cor e opacidade.....	27
3.3.5. Propriedades dos filmes.....	28
3.3.5.1. Propriedades de barreira .....	28
3.3.5.1.1. Propriedades de barreira ao vapor de água .....	28

3.3.5.1.2. Propriedades de barreira a gases .....	29
3.3.5.2. Propriedades mecânicas.....	29
3.4. Filmes de pectina.....	30
3.5. Filmes de alginato.....	32
3.6. Filmes de metilcelulose.....	33
4. Palma .....	34
4.1 Óleo de palma .....	35
4.1.1 Aspectos econômicos .....	36
4.1.2 Propriedades físico-químicas .....	38
4.1.2.1 Oleína de palma.....	38
4.1.2.2 Estearina de palma .....	38
5. Processo de fritura.....	38
5.1 Desidratação osmótica antes da fritura .....	45
5.2 Coberturas comestíveis antes da fritura.....	46
6. Referências bibliográficas .....	48
CAPÍTULO 2 - SENSORY ACCEPTANCE OF SWEET POTATO ( <i>IPOMOEA BATATAS</i> ) AND YAM ( <i>DIOSCOREA SPP</i> ) CHIPS FRIED IN PALM OLEIN AND STEARIN .....	
	61
SUMMARY .....	
	63
1. Introduction .....	65
2. Material and methods.....	66
2.1 Raw materials .....	66
2.2 Preparation of chips .....	67
2.3 Physical and chemical analyses.....	67
2.4 Sensory evaluation .....	67
3. Results & discussion .....	68

3.1 Physical and chemical analyses.....	68
3.2 Sensory evaluation .....	70
3.2.1 Visual appearance of the processed chips submitted to a sensory evaluation .....	71
4. Conclusion .....	72
5. References.....	72
6. Acknowledgements .....	74
CAPÍTULO 3 – ACEITAÇÃO SENSORIAL DE <i>CHIPS</i> DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA.....	
	75
Resumo .....	77
1. Introdução .....	79
2. Material e métodos.....	80
2.1 Matérias primas .....	80
2.2 Preparo dos <i>chips</i> .....	81
2.3 Análises físicas e químicas da matéria-prima .....	81
2.4 Análise sensorial.....	81
3. Resultados e discussão .....	82
3.1 Análises físicas e químicas .....	82
3.2 Análise sensorial.....	83
4. Conclusão .....	85
5. Referências bibliográficas .....	85
6. Agradecimentos .....	86
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DO EFEITO DE DIFERENTES ANTIOXIDANTES NA PREVENÇÃO DE ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE BATATA-DOCE E INHAME.....	
	87
Resumo .....	89
1. Introdução .....	91

2. Materiais e métodos .....	92
2.1 Matérias primas .....	92
2.2 Preparo das fatias de batata-doce e inhame.....	92
2.3 Preparo das soluções antioxidantes .....	93
2.4 Análises físicas e químicas da matéria-prima .....	93
2.4.1 Análise instrumental de cor.....	93
2.4.2 Análise estatística .....	94
3. Resultados e discussão .....	94
3.1 Análises físicas e químicas .....	94
3.2 Índice de escurecimento da batata-doce.....	95
3.3 Índice de escurecimento de inhame.....	97
3.4 Aspecto visual da batata-doce e do inhame.....	99
4. Conclusão .....	100
5. Referências bibliográficas .....	101
6. Agradecimentos .....	101
CAPÍTULO 5 – EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS E CONCENTRAÇÃO DAS	
SOLUÇÕES DESIDRATANTES NO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO	
OSMÓTICA DE BATATA-DOCE .....	
	103
Resumo .....	105
1. Introdução .....	107
2. Material e métodos.....	111
2.1 Material.....	111
2.2 Caracterização química da matéria-prima.....	111
2.2.1 Composição centesimal.....	111
2.2.2 pH.....	111

2.2.3 Sólidos totais .....	112
2.2.4 Sólidos solúveis .....	112
2.2.5 Acidez total titulável .....	112
2.2.6 Açúcares redutores, não redutores e totais.....	112
2.2.7 Atividade de água .....	112
2.3 Preparo das amostras.....	112
2.3.1 Preparo da solução osmótica .....	113
2.3.2 Planejamento experimental .....	113
2.4 Processo osmótico.....	115
3. Resultados e discussão .....	116
3.1 Composição centesimal e caracterização química da batata-doce .....	116
3.2 Otimização do processo de desidratação osmótica .....	118
3.3 Perda de peso (PP) .....	119
3.4 Perda de água (PA) .....	125
3.5 Ganho de sólidos (GS) .....	130
3.6 Relação de <i>performance</i> (RP) .....	132
4. Conclusão .....	133
5. Referências bibliográficas .....	134
6. Agradecimentos .....	136
CAPÍTULO 6 - OTIMIZATION OF THE OSMOTIC DEHYDRATION PROCESS FOR SWEET POTATO ( <i>IPOMOEA BATATAS</i> ).....	137
ABSTRACT .....	139
1. Introduction .....	141
2. Material and methods.....	143
2.1 Material.....	143

2.2 Sample preparation.....	143
2.3 Preparation of the osmotic solution .....	144
2.4 Experimental design .....	144
3. Results and discussion.....	146
3.1 Weight reduction (WR).....	147
3.2 Water loss (WL) .....	150
3.3 Solids gain (SG).....	154
4 . Conclusions.....	163
5 References.....	163
6 Acknowledgments .....	165
CAPÍTULO 7 – FILMES COMESTÍVEIS BIODEGRADÁVEIS DE POLÍMEROS DE FONTES RENOVÁVEIS – POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM ALIMENTOS FRITOS DE BAIXO TEOR CALÓRICO .....	
RESUMO.....	169
1 Introdução .....	171
2 Material e métodos.....	173
2.1 Material.....	173
2.2 Elaboração dos filmes.....	173
2.2.1 Filme de pectina de baixa metoxilação .....	173
2.2.2 Filme de alginato de sódio .....	174
2.2.3 Filme de metilcelulose .....	174
2.3 Caracterização dos filmes.....	175
2.3.1 Aspecto visual .....	175
2.3.2 Espessura.....	175
2.3.3 Permeabilidade ao vapor de água .....	175

2.3.4 Solubilidade em água .....	176
2.3.5 Propriedades mecânicas .....	177
2.3.6 Permeabilidade ao oxigênio.....	178
2.3.7 Opacidade (Transmitância Total).....	178
2.3.8 Estabilidade dos filmes sob fritura em óleo.....	179
2.3.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	179
2.4 Análise estatística .....	180
3 Resultados e discussão .....	180
3.1 Caracterização dos filmes.....	180
3.1.1 Aspecto visual .....	180
3.1.2 Espessura.....	181
3.1.3 Permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água.....	182
3.1.4 Propriedades mecânicas .....	183
3.1.5 Permeabilidade ao oxigênio.....	184
3.1.6 Opacidade (Transmitância Total).....	185
3.1.7 Estabilidade dos filmes sob fritura .....	186
3.1.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	187
4. Conclusão .....	190
5. Referências bibliográficas .....	192
6. Agradecimentos .....	194
CAPÍTULO 8 - OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FRITURA DE <i>CHIPS</i> DE BATATA-DOCE EM OLEÍNA OU ESTEARINA DE PALMA.....	195
RESUMO.....	197
1 Introdução .....	199
2 Material e métodos.....	202

2.1	Preparo das amostras.....	202
2.2	Composição em ácidos graxos .....	203
2.2.1	Ácidos graxos livres.....	203
2.2.2	Índice de peróxido .....	203
2.2.3	Índice de iodo .....	204
2.2.4	Cor .....	204
2.2.5	Umidade .....	204
2.3	Planejamento experimental para otimização do processo de fritura de <i>chips</i> de batata-doce em oleína ou estearina de palma .....	204
2.4	Processo de fritura.....	205
3	Resultados e discussão .....	206
3.1	Caracterização da oleína e estearina de palma .....	206
3.2	Otimização do processo de fritura em oleína ou estearina de palma .....	210
3.2.1	Umidade .....	212
3.2.2	Cor .....	216
3.2.3	Teor de óleo incorporado.....	219
4	Conclusão .....	223
5	Referências bibliográficas .....	223
CAPÍTULO 9 - EFEITO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E COBERTURAS COMESTÍVEIS ANTES DO PROCESSO DE FRITURA NA QUALIDADE DE <i>CHIPS</i> DE BATATA-DOCE .....		227
RESUMO.....		229
1	Introdução .....	231
2	Material e métodos.....	235
2.1	Preparo das amostras.....	235

2.2 Desidratação osmótica.....	235
2.3 Cobertura comestível.....	235
2.3.1 Cobertura de pectina de baixa metoxilação.....	236
2.3.2 Cobertura de alginato de sódio.....	236
2.3.3 Cobertura de metilcelulose.....	236
2.4 Fritura.....	237
3 Resultados e discussão.....	237
3.1 Teor de óleo incorporado.....	237
4 Conclusão.....	239
5 Referências bibliográficas.....	239
CAPÍTULO 10 - ESTUDO DA VIDA ÚTIL DE <i>CHIPS</i> DE BATATA-DOCE.....	241
RESUMO.....	243
1 Introdução.....	245
2 Material e métodos.....	247
2.1 Preparo das amostras.....	247
2.2 Desidratação osmótica.....	248
2.3 Cobertura comestível de metilcelulose.....	248
2.4 Fritura.....	248
2.5 Estocagem dos <i>chips</i> de batata-doce.....	249
2.6 Análise dos <i>chips</i> de batata-doce.....	249
2.6.1 Umidade.....	249
2.6.2 Atividade de água.....	249
2.6.3 Cor.....	250
2.6.4 Textura.....	250
2.6.5 Teor de óleo.....	251

2.6.6 Índice de peróxido .....	251
2.6.7 Composição de ácidos graxos e gordura <i>trans</i> .....	251
2.6.8 Análise sensorial.....	252
2.6.9 Análise estatística.....	252
3 Resultados e discussão .....	253
3.1 Umidade .....	253
3.2 Atividade de água .....	253
3.3 Cor.....	253
3.4 Textura .....	254
3.5 Teor de óleo.....	255
3.6 Índice de peróxido.....	256
3.7 Comparação dos <i>chips</i> de batata-doce com um produto comercial .....	259
3.8 Composição de ácidos graxos e gordura <i>trans</i> .....	260
3.9 Análise sensorial.....	262
4 Conclusão .....	268
5 Referências bibliográficas .....	268
Conclusão geral.....	272

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> Composição centesimal dos cultivares de batata-doce biofortificadas. ....	82
<b>Tabela 3.2</b> Médias das notas atribuídas pelos provadores para os <i>chips</i> dos dois cultivares de batata-doce biofortificadas fritos em oleína de palma.....	83
<b>Tabela 4.3</b> Índice de escurecimento de inhame durante o período de 3 dias. ....	98
<b>Tabela 5.1</b> Níveis das variáveis independentes no planejamento experimental.....	114
<b>Tabela 5.2</b> Composição centesimal e caracterização química da batata-doce <i>in natura</i> .116	
<b>Tabela 5.4.</b> Resultados do delineamento experimental para a desidratação .....	119
<b>Tabela 5.5</b> Efeitos das variáveis independentes sobre a perda de peso de fatias de batata-doce desidratadas ( $R^2 = 0,80$ ). ....	120
<b>Tabela 5.6.</b> Análise de variância (ANOVA) para a perda de peso de fatias de batata-doce desidratada. ....	121
<b>Tabela 5.10.</b> Análise de variância (ANOVA) para o ganho de sólidos de fatias de batata-doce desidratadas. ....	132
<b>Tabela 7.2</b> Propriedades mecânicas dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose.....	184
<b>Tabela 7.3</b> Permeabilidade ao oxigênio dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose	185
<b>Tabela 8.1</b> Níveis das variáveis independentes no planejamento experimental de fritura de fatias de batata-doce em oleína e estearina de palma. ....	204
<b>Tabela 8.2</b> Composição em ácidos graxos de oleína de palma. ....	207
<b>Tabela 8.3</b> Composição em ácidos graxos de estearina de palma. ....	208
<b>Tabela 8.4</b> Características físico-químicas de oleína e estearina de palma.....	209
<b>Tabela 8.5</b> Delineamento experimental para <i>chips</i> de batata-doce fritos em oleína .....	211
<b>Tabela 8.6</b> Delineamento experimental para <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina..	212
<b>Tabela 8.7</b> Efeitos das variáveis independentes sobre a umidade de <i>chips</i> de batata-doce fritos em oleína de palma ( $R^2 = 0,98$ ). ....	213

<b>Tabela 8.8</b> Efeitos das variáveis independentes sobre a umidade de <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina de palma ( $R^2 = 0,94$ ).....	213
<b>Tabela 8.9</b> Análise de variância para a umidade de <i>chips</i> de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma.....	214
<b>Tabela 8.11</b> Efeitos das variáveis independentes sobre a cor de <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina de palma ( $R^2 = 0,97$ ).....	217
<b>Tabela 8.12</b> Análise de variância para a cor de <i>chips</i> de batata-doce frito em oleína e estearina de palma. ....	217
<b>Tabela 8.14</b> Efeitos das variáveis independentes sobre o teor de óleo incorporado de <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina de palma ( $R^2 = 0,92$ ).....	220
<b>Tabela 8.15</b> Análise de variância para a incorporação de óleo em <i>chips</i> de batata-doce frito em oleína e estearina de palma.....	220
<b>Tabela 9.1</b> Teor de óleo incorporado nos <i>chips</i> de batata-doce. ....	238
<b>Tabela 10.1</b> Análises realizadas nos <i>chips</i> de batata-doce durante estocagem de 60 dias.....	258
<b>Tabela 10.2</b> Análises realizadas na batata comercial. ....	260
<b>Tabela 10.3</b> Composição em ácidos graxos de oleína de palma utilizada na fritura de <i>chips</i> de batata-doce controle e tratamento. ....	261
<b>Tabela 10.5</b> Parâmetros, probabilidade e valores de odds-ratio para predição de aceitação e intenção de compra .....	266
<b>Tabela 10.6</b> Parâmetros, probabilidade e valores de odds-ratio para predição de aceitação e intenção de compra .....	267

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Palma, cachos e frutos.....	35
<b>Figura 3.1</b> Cultivares de batata-doce biofortificada: (a) Cultivar 1081; (b) Cultivar 1122 e (c) Polpa alaranjada do cultivar 1122.....	80
<b>Figura 3.3</b> Porcentagem das notas atribuídas para intenção de.....	85
<b>Figura 4.1</b> Batata-doce controle e com solução de metabissulfito de sódio 2,0%, no 3º dia de estocagem. ....	100
<b>Figura 4.2</b> Inhame controle e com solução de metabissulfito de sódio 1,0%, no 3º dia de estocagem. ....	100
<b>Figura 5.1.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do xarope de glicose e glicerol/CaCl <sub>2</sub> . ....	123
<b>Figura 5.2.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função da temperatura e glicerol/CaCl <sub>2</sub> . ....	123
<b>Figura 5.3</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do tempo e glicerol/CaCl <sub>2</sub> . ....	124
<b>Figura 5.4.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função da temperatura e xarope de glicose. ....	124
<b>Figura 5.5.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do tempo e xarope de glicose.....	125
<b>Figura 5.8.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função da temperatura e glicerol/CaCl <sub>2</sub> . ....	128
<b>Figura 5.9</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função do tempo e glicerol/CaCl <sub>2</sub> . ....	129
<b>Figura 5.11.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da variação da perda de água em função do tempo e xarope de glicose.....	130
<b>Figura 5.12.</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função do tempo e temperatura. ....	130

<b>Figura 7.3</b> Filmes de pectina (P), alginato (A) e metilcelulose (M) em contato com estearina de palma. ....	187
<b>Figura 7.4</b> Micrografias obtidas através microscopia eletrônica de varredura para os filmes de pectina (A) superfície e (B) secção transversal. Onde: pi= partículas insolúveis; f = fita de carbono.....	188
<b>Figura 7.5</b> Micrografias obtidas através microscopia eletrônica de varredura para os filmes de alginato (A) superfície e (B) secção transversal. Onde: e = estrias e f = fita de carbono.....	190
<b>Figura 7.6.</b> Micrografias obtidas através microscopia eletrônica de varredura para os filmes de metilcelulose (A) superfície e (B) secção transversal. Onde: e = estrias e f = fita de carbono. ....	190
<b>Figura 8.1</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da umidade em função da temperatura e do tempo dos <i>chips</i> de batata-doce fritos em oleína de palma.	215
<b>Figura 8.2</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da umidade em função da temperatura e do tempo para <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina de palma.....	216
<b>Figura 8.3</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da cor em função da temperatura e tempo dos <i>chips</i> de batata-doce fritos em oleína de palma.....	218
<b>Figura 8.4</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da cor em função da temperatura e tempo de <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina de palma. ....	219
<b>Figura 8.5</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da incorporação de óleo em função da temperatura e do tempo de <i>chips</i> de batata-doce fritos em oleína de palma.....	222
<b>Figura 8.6</b> Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da incorporação de óleo em função da temperatura e do tempo de <i>chips</i> de batata-doce fritos em estearina de palma.....	222

## RESUMO GERAL

O Brasil apresenta a maior produção de batata-doce do continente latino-americano. Uma alternativa interessante para a expansão da cultura e também devido a sua alta perecibilidade seria a utilização da batata-doce como *chips* que é um mercado que vem crescendo muito por se tratar de um produto de conveniência. O objetivo deste estudo foi desenvolver *chips* de batata-doce com mínima incorporação de óleo, pela otimização da tecnologia combinada dos pré-tratamentos: desidratação osmótica e aplicação de coberturas comestíveis, antes do processo de fritura por imersão em oleína ou estearina de palma. A estratégia utilizada foi a avaliação sequencial das seguintes etapas: (i) estudo da atuação de diferentes antioxidantes na prevenção de escurecimento enzimático do vegetal; (ii) estudo do efeito das condições operacionais e teor das soluções desidratantes e otimização do processo de desidratação osmótica; (iii) potencial de aplicação de coberturas comestíveis; (iv) otimização do processo de fritura em oleína ou estearina de palma; (v) efeito combinado da desidratação osmótica e coberturas comestíveis antes do processo de fritura e (vi) estudo da vida útil dos *chips* desenvolvidos. O processo de imersão de batata-doce em solução de metabissulfito de sódio 2,0% constitui-se no método mais eficiente como tratamento preliminar para a inibição do escurecimento enzimático. No processo de desidratação osmótica para *chips* de batata-doce, as melhores condições operacionais encontradas foram: (i) concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> de 30%/1% (p/p); (ii) concentração de xarope de glicose de 63,75%, (iii) temperatura de 48°C e (iv) tempo de 120 minutos. De acordo com a caracterização das propriedades químicas e físicas, o filme de alginato é o mais indicado para ser aplicado como cobertura nos *chips* de batata-doce. No aspecto coloração após a fritura, o filme de metilcelulose é o mais indicado, pois praticamente não apresentou alteração de coloração após o processo de fritura. A otimização do processo de fritura de *chips* de batata-doce frito em oleína de palma visando à minimização do teor de óleo incorporado e de umidade indicou como condições mais adequadas: (i)

temperatura de 160°C e (ii) tempo de 3 minutos e 30 segundos. O desenvolvimento de *chips* de batata-doce com baixa incorporação de óleo foi possível devido aos processos combinados (pré-tratamentos) de desidratação osmótica e aplicação de cobertura comestível de metilcelulose, reduzindo em 55,75% a absorção de óleo após o processo de fritura. Os *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram algumas diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05\%$ ) nas características físicas e físico-químicas com a estocagem do produto, no entanto, não foi detectada sensorialmente pelos provadores, fazendo com que os *chips* de batata-doce pudessem ser estocados por 60 dias sem perdas das características sensoriais. Os *chips* de batata-doce não submetidos aos pré-tratamentos (controle) apresentaram melhores características físicas, físico-químicas e sensoriais durante os 60 dias de estocagem, se comparado aos *chips* de batata-doce com baixo teor calórico. A textura foi o atributo que mais influenciou negativamente a aceitação e a intenção de compra dos *chips* de batata-doce. A textura rígida, possivelmente, esteja relacionada com a natureza do vegetal e espessura da fatia utilizada. O emprego de outros processos tecnológicos pode melhorar a textura deste produto, fazendo com que a aceitação e a intenção de compra aumentem.

**Palavras chave:** *chips* de batata-doce, desidratação osmótica, cobertura comestível de metilcelulose e fritura.

## GENERAL SUMMARY

Brazil is the greatest sweet potato producer in the Latin American continent. An interesting alternative for the expansion of the culture of this root, that would also help solve problems related to its highly perishable nature, could be the production of sweet potato chips, a market that is growing as a convenience product. The aim of this study was to develop sweet potato chips with minimal oil incorporation, through the optimization of the combined technology of the pre-treatments: osmotic dehydration and application of edible coatings before the process of frying by immersion in the palm olein and stearin. The strategy used was to evaluate the following sequential steps: (i) study the performance of different antioxidants in the prevention of enzymatic browning of vegetables, (ii) study the effect of operating conditions and content of dehydrate solutions and optimization of the process of osmotic dehydration; (iii) potential application of edible coatings, (iv) optimization of the process of frying in palm olein or stearin, (v) the combined effect of osmotic dehydration and edible coatings before the process of frying and (vi) study shelf life of chips. The process of immersion of sweet potato, in a solution of sodium metabisulphite, 2% is in the most efficient method for preliminary treatment and the inhibition of enzymatic browning. In the process of osmotic dehydration for sweet-potato chips, the best operating conditions were: (i) concentration of glycerol/CaCl<sub>2</sub> of 30%/1% (w/w), (ii) concentration of glucose syrup of 63.75%, (iii) temperature of 48°C and (iv) time of 120 minutes. According to the characterization of chemical and physical properties the film of alginate is the most suitable to be used as mulch in sweet-potato chips. On the color after frying, the film of methylcellulose is the most appropriate, because almost showed no change in color after the process of frying. The optimization of the process of frying sweet potato chips fried in palm olein in order to minimize the oil content and moisture showed incorporated as the most appropriate: (i) temperature of 160 ° C and (ii) time of 3 minutes and 30 seconds. The development chips sweet potato with low oil incorporation was possible due to the combined processes (pre-treatments) of osmotic dehydration

and application of edible methylcellulose coating, reducing oil absorption by 55.75% after the frying process. The control and treated sweet potato chips showed some statistically significant differences ( $p < 0,05\%$ ) in physical and physicochemical characteristics during storage of the product, but, they were not detected in the sensory analysis by the panelists, making it possible to store the sweet potato chips for 60 days without loss of sensory characteristics. Control sweet potato chips showed better characteristics, both in physical and physicochemical analyses, as in sensory analysis, during the 60 days of storage, compared to treated sweet potato chips. Texture was the attribute that showed greatest negative influence on the acceptance and purchase intention of chips sweet potato. The rigid texture may be due to the nature of the vegetable and to the slice thickness used. The use of technological processes could improve the texture of this product, increasing acceptance and purchase intention.

**Keywords:** sweet potato chips, osmotic dehydration, methylcellulose edible coating and frying.

## **INTRODUÇÃO GERAL**



## INTRODUÇÃO GERAL

A participação efetiva da mulher no mercado de trabalho e a falta de tempo de trabalhadores para realizar as refeições principais vêm aumentando gradativamente o mercado de *chips* que antigamente era muito explorado apenas para o consumo infantil. O principal tipo de *chips* consumido pela população é o de batata, no entanto, já existem diversos tipos como os de: banana, mandioca, batata doce, maçã, abacaxi e manga, que são promissores, pois além de serem atrativos e práticos, podem ser fontes de vitaminas, fibras e sais minerais.

O Brasil apresenta a maior produção de batata-doce do continente latino-americano. Uma alternativa interessante para a expansão da cultura e também devido a sua alta perecibilidade seria a utilização da batata-doce como matéria-prima para elaboração de *chips*, que é um mercado que vem crescendo muito por se tratar de um produto de conveniência.

A utilização da desidratação osmótica como pré-tratamento à fritura vem sendo estudada por diversos pesquisadores. A desidratação parcial do material reduz o teor de água inicial e, portanto, o tempo do processo subsequente de fritura, juntamente com a impregnação por soluto, que possui um efeito positivo na diminuição da incorporação de óleo pelo produto, resultam em produtos fritos de melhor qualidade (TOREZAN, 2005). O uso de desidratação osmótica antes do processo de fritura diminui o teor de óleo incorporado em batata frita, e a proporção da redução depende do tipo de solução osmótica utilizada. A utilização de solução de 40% de glicose reduziu em 60% a incorporação de óleo, enquanto que a solução de 20% de cloreto de sódio, 20% de maltodextrina-12 e 20% de maltodextrina-21 minimizou em, 35%, 20% e 15%, respectivamente (KROKIDA et al., 2001). Estudo realizado em *chips* de banana, utilizando solução osmótica de 20% de glicose e cloreto de sódio como pré-tratamento à fritura, reduziu a incorporação de óleo pela metade, após o processo de fritura em óleo de girassol (IKOKO; KURI, 2007).

As coberturas mais utilizadas para reduzir a migração do óleo para o alimento no processo de fritura são os hidrocolóides, os lipídios ou a combinação de ambos. Os hidrocolóides são especialmente interessantes, pois possuem boa propriedade de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídios (WILLIAMS; MITTAL, 1999). Dentre os hidrocolóides mais utilizados como coberturas estão as proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos. Dois critérios são importantes para a escolha de um material que possa ser utilizado como barreira para incorporação de óleo no produto durante a fritura, permeabilidade ao óleo e resistência a altas temperaturas (ALBERT; MITTAL, 2002).

A aceitação de alimentos submetidos ao processo de fritura é universal, sendo os produtos apreciados por todas as faixas etárias e classes sociais. O processo de fritura pode ser definido como uma secagem, cozimento ou desidratação rápida, em que a remoção de água do alimento ocorre pela imersão do mesmo em óleo na faixa de temperatura de 120 a 180°C (VITRAC et al., 2000; TOREZAN, 2005).

A obtenção de *chips* de batata-doce de boa qualidade, com desenvolvimento controlado de sabor, aroma, cor e textura característicos, aliado à baixa incorporação de óleo e máxima perda de água, requer uma otimização dos parâmetros do processo de fritura, principalmente tempo e temperatura (TFOUNI et al., 2003). Altas temperaturas aceleram reações de escurecimento não enzimático, degradação de compostos de aroma e vitaminas. Assim, a redução do tempo de residência do produto no óleo de fritura, minimizando os efeitos da temperatura, pode ser conseguida pelo emprego de pré-tratamentos que diminuam o teor de umidade inicial ou reduzam a transferência de massa, como a desidratação osmótica e o uso de coberturas comestíveis antes da fritura (TOREZAN, 2005).

O objetivo deste estudo foi desenvolver *chips* de batata-doce com mínima incorporação de óleo, pela otimização da tecnologia combinada dos

pré-tratamentos: desidratação osmótica e aplicação de coberturas comestíveis, antes do processo de fritura por imersão em óleo.

### **Referências bibliográficas**

ALBERT, S.; MITTAL, G.S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. **Food Research International**, v.35, p.445-448, 2002.

IKOKO, J.; KURI, V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. **Food Chemistry**, v.102, p.523-531, 2007.

KROKIDA, M.K.; OREOPOULOU, V.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of french fries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.339-345, 2001.

TFOUNI, S.A.V.; MACHADO, R.M.D.; GARCIA, L.C.; AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. Batata chips e palha. **Agronegócio 3**. Campinas: ITAL, 73p. 2003.

TOREZAN, G.A.P. **Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga**. 2005. 269p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VITRAC, O.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A.L. Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. **European Journal of Lipid Technology**, v.102, p.529-538, 2000.

WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Low-fat fried foods with edible coatings: modeling and simulation. **Journal of Food Science**, v.64, p.317-322, 1999.



## **CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---



## CAPITULO 1

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 1. *Chips*

O termo *chips* é originalmente americano e se refere a um tipo de *snack* frito (LUSAS; ROONEY, 2001; TFOUNI et al., 2003; VILPOUX, 2003). *Snack* pode ser definido como um alimento de conveniência ingerido entre as refeições principais, incluindo alguns sanduíches, iogurtes e até sorvetes (LUSAS; ROONEY, 2001; CEREDA et al., 2003).

O mercado de *chips* e *snacks* vêm crescendo ultimamente, por serem produtos de conveniência e porque algumas pessoas, pela falta de tempo, substituem as refeições principais pelos salgadinhos. Grande parte desses produtos são *chips* de batata (VILPOUX, 2003) ou de outras matérias-primas ricas em amido, como banana (AMMAWATH et al., 2002), plátano (*Musa paradisiaca* L.) (DIAZ et al., 1999), batata doce (LENG et al., 1997) e mandioca (GRIZOTTO, 2000; VITRAC et al., 2002). Em paralelo, existem numerosas raízes e tubérculos, menos conhecidos e que, como a batata inglesa, possuem um grande potencial para produção de *chips*, dentre elas, destacam-se o inhame (*Dioscorea sp.*), o taro (*Colocasia esculenta*) e a mandioquinha salsa (*Arracachia xanthorrhiza*) (VILPOUX, 2003). Os *chips* de frutas e vegetais com baixo teor de amido, como maçã (SHYU;HWANG, 2001; QUERIDO, 2005), pepino japonês (VILPOUX, 2003), abacaxi (ATHANASE, 1998) e manga (TOREZAN, 2005), mostram um mercado promissor na Europa e nos EUA, pois além de serem atrativos e práticos, podem ser fontes de vitaminas, fibras e sais minerais.

O Brasil apresenta a maior produção de batata-doce (539 mil toneladas) do continente latino-americano. As regiões de maior produção são o Sul e o Nordeste (DA SILVA et al., 2007). A produção de inhame está ao redor de 230 mil toneladas e concentra-se no Nordeste, onde se destaca o estado da Paraíba como principal

produtor. No inhame, são encontrados valores expressivos de minerais, carboidratos, vitaminas A, B, C e D (MESQUITA, 2002).

O emprego de pré-tratamentos como a desidratação osmótica e o uso de coberturas comestíveis antes do processo de fritura auxilia na diminuição do teor de umidade inicial e reduz a transferência de massa proporcionando *chips* de boa qualidade, com máxima perda de água e mínima incorporação de óleo (TOREZAN, 2005).

## **2. Desidratação osmótica**

A desidratação em alimentos é um dos métodos mais antigos utilizados para a sua conservação. A redução de água, a um nível mais baixo, reduz a possibilidade de deterioração microbiológica e reduz a velocidade de reações químicas e bioquímicas. Além do efeito conservante, a desidratação reduz o peso e o volume do alimento, aumentando a eficiência do transporte e armazenamento (SINGH; HELDMAN, 1998).

A desidratação osmótica consiste basicamente na remoção do conteúdo de água do produto com um aumento simultâneo no teor de sólidos. A desidratação pode ser realizada por imersão do alimento sólido, inteiro ou em pedaços, em uma solução hipertônica de um ou mais solutos (agente desidratante) por um determinado tempo e temperatura (RAOULT-WACK et al., 1994).

A osmose é um processo natural que ocorre quando duas soluções de diferentes concentrações são separadas por uma membrana que dá a passagem a um certo tipo de moléculas e não a outras. Ocorre uma movimentação de moléculas do solvente através da membrana, no sentido da solução mais diluída para a mais concentrada, com uma tendência de uniformização das concentrações com o tempo. Este fenômeno pode ocorrer nos tecidos de vegetais quando colocados em soluções concentradas. A água passa através da parede

celular, que atua como membrana semipermeável, saindo das células e resultando em uma desidratação do tecido (GAVA, 1999; ERTEKIN; CAKALOZ, 1996).

Durante o processo de desidratação por osmose observam-se três tipos básicos de transferência de massa, os quais ocorrem simultaneamente (RAOULT-WACK et al., 1994):

(i) saída de água do produto para a solução hipertônica;

(ii) transporte de soluto da solução para o produto. O aspecto distintivo da desidratação osmótica, quando comparado com outros métodos de desidratação é esta incorporação de solutos sem modificar a integridade do alimento. Assim é possível, obedecidos os limites do alimento, mudar a sua formulação e torná-lo mais adequado para os demais processamentos. Pode-se, portanto, incorporar ingredientes ou aditivos, por exemplo, antioxidantes nos alimentos. É possível também adicionar solutos de interesse nutricional ou sensorial (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001). A impregnação de solutos pode ser desejável, como por exemplo, no caso de frutas com elevada acidez, cujo tratamento em soluções de açúcar torna o sabor mais agradável. No entanto, excessiva incorporação de solutos pode ser inconveniente devido à descaracterização do produto inicial (VIAL et al., 1991).

(iii) saída de alguns sólidos naturais do próprio produto, como os açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais, vitaminas, entre outros nutrientes. Essa perda de sólidos do alimento está relacionada ao fato de a membrana plasmática não ser perfeitamente seletiva, permitindo a saída de alguns sólidos do alimento juntamente com a água (RASTOGI et al., 2002). Embora este fluxo seja insignificante quando comparado aos outros dois, pode ser importante no que diz respeito às características organolépticas, nutricionais e composição do produto final (RAOULT-WACK et al., 1994).

Na transferência de massa, ocorrem mudanças nas propriedades macroscópicas dos produtos em níveis determinados pelas condições do processo

e características do produto. Estas mudanças estão diretamente relacionadas à cor, aparência e textura do produto (TALENS et al., 2001).

A desidratação osmótica promove grande remoção de água (40 a 70% do produto inicial), diminuindo com isso a massa do alimento, garantindo economia e praticidade em seu armazenamento e transporte. Quando o processo é conduzido em condições típicas, como temperatura na faixa de 30 a 50°C, pressão atmosférica e produto em tamanho reduzido, a maior perda de água ocorre durante as primeiras duas horas e afeta principalmente a textura. O ganho de sólidos limitado e controlado, na faixa de 5 a 25% do produto inicial, ocorre principalmente durante os 30 minutos iniciais com soluções de alta concentração (50 a 75%) e desta forma afetando o aroma e o sabor do alimento (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001; TOREZAN, 2005).

No processo de desidratação osmótica, há diversas vantagens em relação a outros métodos, tais como: (i) redução do tempo de exposição do produto a temperaturas elevadas, resultando em uma significativa manutenção da qualidade final do produto pela preservação da textura, retenção de vitaminas, estabilização da cor e redução do escurecimento enzimático; (ii) possibilidade de reutilização da solução osmótica; (iii) redução do consumo de energia na secagem da ordem de 20 a 30%, quando comparada com a secagem convencional por convecção (LENART, 1996; QUERIDO, 2005).

A característica principal dos produtos submetidos à desidratação osmótica é a formação e retenção de uma camada superficial concentrada em soluto, com grande efeito no controle de transferência de massa, favorecendo a perda de água, limitando a impregnação por soluto e reduzindo a perda por lixiviação de solutos hidrossolúveis, como frutose e ácido ascórbico. Por outro lado, a presença desta camada pode influenciar o comportamento do produto durante o processo complementar de preservação, como por exemplo, na secagem convencional, diminuindo as taxas de desidratação (RAOULT-WACK et al., 1994).

A desidratação osmótica, sozinha, não é capaz de reduzir a atividade de água de um alimento a níveis suficientemente baixos que garantam sua estabilidade (TORRINGA et al., 1998). Com isso, o tratamento osmótico têm sido utilizado principalmente como um pré-tratamento para processos convencionais como o congelamento, secagem à frio (liofilização), secagem à vácuo, secagem comum e fritura em óleo, a fim de obter um produto de melhor qualidade, reduzindo os custos com energia ou mesmo desenvolver novos produtos (SERENO et al., 2001).

Avaliando a produção de fatias de abóbora desidratadas utilizando uma combinação das técnicas de desidratação osmótica e secagem convectiva, COELHO et al. (2002) observaram que o pré-tratamento osmótico reduziu significativamente a umidade das fatias e possibilitou a obtenção de um produto seco com menor encolhimento, preservação da coloração e intensificação do sabor, tornando-o mais aceitável do ponto de vista sensorial, do que o produto seco sem a desidratação osmótica.

EL-AOUAR (2001), avaliando o efeito da desidratação osmótica seguida de secagem de cubos de mamão formosa, também afirma que, quando combinada à secagem convencional, a desidratação osmótica permite uma maior retenção da cor natural do produto, preservação de componentes voláteis e minimização do encolhimento e, obviamente, a redução no consumo de energia durante a etapa de secagem.

Os principais parâmetros que influenciam a transferência de massa no processo de desidratação osmótica são: (i) características do tecido vegetal; (ii) tamanho e espessura do vegetal; (iii) composição química da solução osmótica; (iv) concentração da solução osmótica; (v) relação vegetal:solução; (vi) temperatura em que o processo é realizado; (vii) o tempo de imersão; (viii) presença ou ausência de agitação; entre outros (RASTOGI et al., 2002).

## **2.1 Características do tecido vegetal**

A membrana celular é muito permeável à água, e são poucas as substâncias que a atravessam com igual facilidade. Quando o tecido vegetal é colocado em uma solução hipertônica, as células diminuem de volume devido à saída de água (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1977).

Diferenças nas características do tecido vegetal como compactação, massa inicial de substâncias não solúveis, enzimas, tamanho dos espaços intercelulares, presença de gás retido nos capilares e complexos de pectina e celulose e grau de gelificação, determinam a cinética do processo de desidratação (TORREGGIANI, 1993).

## **2.2 Tamanho e espessura do vegetal**

As membranas semipermeáveis das células presentes no tecido vegetal oferecem resistência ao processo de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica. Desta forma, durante a remoção de água do alimento, a água é retirada da superfície em contato com a solução em direção ao centro do alimento. Caso o alimento seja de maior tamanho, a desidratação será mais lenta devido a um maior caminho de difusão a ser percorrido (RASTOGI et al., 2002).

GIANGIACOMO et al. (1987) citam que a influência das dimensões dos pedaços do material deve-se basicamente à relação entre o volume e a superfície. Quanto maior for a área de contato entre o material e o agente osmótico, maior é a taxa de desidratação, no entanto, o ganho de sólidos sofre menor influência deste fator.

### 2.3 Composição química da solução osmótica

O tipo de soluto utilizado afeta fortemente a cinética de perda de água, ganho de sólidos e a umidade de equilíbrio. O aumento da massa molecular dos solutos favorece a perda de água, com baixa incorporação de sólidos, favorecendo a perda de peso e levando a um material mais desidratado do que impregnado (DALLA ROSA; GIROUX, 2001). A maior penetração de solutos de baixa massa molecular (glicose, frutose e sorbitol) dentro das células favorece o fenômeno de impregnação em comparação com a desidratação (HENG et al., 1990).

A solução desidratante utilizada deve apresentar baixa atividade de água e o soluto deve ser inócuo, de gosto agradável e possuir solubilidade suficiente para obter soluções de altas concentrações (BOHUON; RAOULT-WACK, 2002).

Em trabalho realizado por LENART (1996), foi verificado que em diferenças de concentrações iniciais menores que 40%, ocorre predominantemente o fenômeno de incorporação de solutos, enquanto que em concentração superior a esse percentual, há uma maior taxa de saída de água, ou seja, ocorre a desidratação propriamente dita.

Os principais agentes osmóticos comumente utilizados na desidratação de frutas e vegetais são, respectivamente, soluções de açúcares e cloreto de sódio, devido à compatibilidade de sabor (LERICI et al., 1985; LENART, 1996).

Quando a solução desidratante é constituída de um soluto e solvente, chama-se solução binária; quando há mais de um soluto, chama-se solução de multicomponentes (SACCHETTI et al., 2001).

O uso de misturas de dois ou mais solutos, como sacarose com outros açúcares de diferentes massas moleculares, ou açúcares e sais, como o NaCl, permite o desenvolvimento de interações específicas (soluto/soluto e soluto/alimento) e, assim, maior liberdade de condução do processo de

desidratação osmótica, definida pelos fenômenos de impregnação e desidratação (TOREZAN, 2005).

O xarope de glicose apresenta menor massa molecular do que o xarope de sacarose, por isso exerce maior pressão osmótica, penetrando mais facilmente nos tecidos do vegetal (ANDREOTTI; MATALONI, 1990).

PANAGIOTOU et al. (1999), estudaram os fenômenos de transferência de massa durante a desidratação osmótica de maçã, banana e kiwi em soluções osmóticas de glicose e sacarose. O efeito da massa molecular do soluto no fenômeno de transferência de massa durante o tratamento foi avaliado. Os resultados mostraram que solutos de baixa massa molecular (glicose) levam a uma menor perda de água e maior ganho de sólidos que solutos de maior massa molecular (sacarose), utilizando-se a mesma concentração de solução osmótica.

CHENLO et al. (2006) estudaram a cinética da desidratação osmótica de castanhas com soluções de glicose de diferentes concentrações (40, 50 e 56,5%) a três diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C). Com os resultados, concluíram que a cinética de desidratação depende intensamente da concentração de glicose e da temperatura. Com um aumento de ambos valores, a perda de água e o ganho de sólidos são mais intensos.

A adição de um sal de cálcio, à solução durante o processamento, possui a finalidade de preservar a integridade do alimento osmoticamente desidratado e manter sua textura (MASTRANGELO et al., 2000; SUUTARINEN et al., 2000).

A ação do cálcio na preservação estrutural dos alimentos vegetais tem sido explicada pelo seu efeito na matriz péctica presente na parede celular dos tecidos. A interação entre os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e a pectina proporciona uma maior rigidez à parede celular, favorecendo a manutenção das características de textura dos produtos (JACKMAN; STANLEY, 1995).

PINHEIRO; VILAS BOAS (2005) observaram que a imersão de abacaxi em solução de cloreto de cálcio a 3%, após a sua colheita, promoveu uma diminuição

no índice do escurecimento interno do abacaxi e determinou uma maior perda de massa. Além disso, o cloreto de cálcio ajudou a manter a firmeza da fruta, o que também foi observado para o melão por MORITA et al. (2005). Estes últimos pesquisadores atribuíram o ocorrido ao fato de que o cálcio provavelmente contribui para a manutenção da integridade da parede celular, conferindo maior resistência a esta desordem fisiológica.

Avaliando a influência do cálcio na desidratação osmótica de carambolas, foi observado que a concentração de 0,04mol/L de cloreto de cálcio e 50% de sacarose proporcionou maior eficiência (perda de água/ganho de sólidos) em relação às concentrações de cloreto de cálcio de 0,02mol/L e 0,06mol/L (SHIGEMATSU et al., 2005).

Alguns álcoois podem ser utilizados combinados com outros agentes osmóticos no processo de desidratação osmótica e, à medida que sua concentração na solução aumenta, conseqüentemente aumenta a perda de água. O uso de álcoois polihídricos, como o sorbitol e o glicerol, é recomendado para um abaixamento da atividade de água em nível inferior ao obtido com soluções de açúcares exclusivamente (QUERIDO, 2005).

O glicerol é utilizado como aditivo alimentício para melhorar a textura de determinados alimentos (plastificante e umectante) (CLUBBS et al., 2005) e ainda se mostra vantajoso pelo fato de ser um protetor microbiológico (QIU; BENDING, 2002).

MOREIRA et al. (2007) estudaram o efeito da agitação no processo de desidratação osmótica de castanhas, utilizando soluções aquosas de glicerol e soluções aquosas de glicerol e cloreto de sódio. A taxa de perda de massa utilizando a solução binária aumentou com o aumento da concentração de glicerol.

## 2.4 Concentração da solução osmótica

A diferença de concentração em soluto entre o produto e a solução é a força motriz da transferência de massa no processo de desidratação osmótica (LENART; FLINK, 1984), sendo que o aumento na concentração da solução e o uso de maiores proporções de solução osmótica levam a uma maior perda de massa do vegetal, o que pode ser explicado pelo conseqüente aumento da perda de água (LIMA et al., 2004).

Quando a diferença de concentração entre a solução e o vegetal é de até 40%, predomina o ganho de solutos. Acima desse valor, predomina a saída de água, ou seja, a desidratação propriamente dita (RAOULT-WACK et al., 1994).

Avaliando o efeito das soluções de sacarose nas concentrações 30, 50 e 70% (em massa) e da temperatura 26 e 50°C no processo de desidratação osmótica de cubos (aresta de 3cm) de batata-doce, GENINA-SOUTO et al. (2001) perceberam que para maiores concentrações de solução e temperaturas utilizadas, ocorre maior perda de água da batata e maior absorção de sólidos solúveis.

## 2.5 Relação entre vegetal e solução

A razão entre vegetal e solução é uma variável de processo estudada por muitos autores. De modo geral, é usada uma constante que garanta a razão água/soluto sem que haja mudanças na razão vegetal/solução. Para conseguir esta razão é usada uma grande quantidade de solução desidratante, uma razão 1/5 ou maior (DALLA ROSA; GIROUX, 2001).

Estudando a influência da concentração e da proporção vegetal:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas, SOUSA et al. (2003) concluíram que houve uma maior perda de água nos tratamentos com proporção fruto:xarope

1:4 que a proporção 1:2, podendo assim, afirmarem que as características do produto são influenciadas por esta proporção no meio osmótico utilizado.

## **2.6 Temperatura do processo**

A temperatura é um fator de grande importância no processo de desidratação osmótica e está relacionada com a ruptura dos tecidos e membranas dos vegetais. Por esta razão, o efeito deste fator na cinética do processo de desidratação osmótica é um dos aspectos mais estudados (TONON, 2005).

A taxa de perda de água aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, porém o escurecimento não enzimático, o amolecimento da parede vegetal, deterioração de cor, sabor e aroma, que se iniciam a partir de 50°C, limitam o processo, sendo que a temperatura ótima do processo depende do produto estudado (TORREGGIANI, 1993).

Em estudos de fluxos de massa como perda de água, ganho de sólidos e redução de peso, durante a desidratação osmótica de pedaços de abacaxi, em soluções de sacarose, foi observado que com o aumento da temperatura e da concentração da solução, a perda de água e o ganho de sólidos aumentaram. No entanto, a temperatura foi o fator que mais influenciou a perda de água do abacaxi, enquanto que, a concentração da solução afetou principalmente o ganho de sólidos (LOMBARD et al., 2008).

## **2.7 Tempo de imersão**

A perda de água durante a desidratação osmótica divide-se em dois períodos: (i) o período inicial de aproximadamente 2 horas, com alta taxa de remoção de água e ganho máximo de sólidos nos 30 minutos iniciais; (ii) o segundo período, que tem uma duração de 2 a 6 horas, com decréscimo da taxa de saída de água (TORREGGIANI, 1993). Sendo assim, o processo de

desidratação deve ser conduzido em um curto espaço de tempo, a fim de se alcançar um alto grau de desidratação, com um ganho de sólidos relativamente pequeno (LENART,1996).

Pela análise o processo de estudo de desidratação osmótica de maçã, abóbora e cenoura, KOWALSKA; LENART (2001) mostraram que a maior perda de água ocorreu nos primeiros 30 minutos de processamento. Já o ganho de sólidos foi mais elevado nos primeiros 15 minutos do processo com a abóbora e a cenoura, e nos 30 minutos iniciais com a maçã.

Avaliando a desidratação por imersão-impregnação e a secagem convectiva de goiabas, QUEIROZ et al. (2007) observaram que o teor de sólidos solúveis aumentou linearmente em função do tempo de desidratação.

## **2.8 Agitação**

A eficiência do processo de desidratação osmótica aumenta quando o processo é conduzido sob agitação ou circulação do agente osmótico, porém é preciso ter certo cuidado para que não haja danos ao material a ser desidratado. Além disso, deve-se levar em consideração os custos decorrentes desta implementação (PONTING, 1966).

A agitação tem a função de diminuir a resistência à transferência de massa, causada pela viscosidade da solução desidratante, proporcionando, com isso, uma maior superfície de contato entre a solução osmótica e o produto (HAWKES; FLINK,1978). Além disso, a agitação garante a renovação da solução concentrada ao redor do produto, uma vez que nessa região é formada uma camada diluída ao longo do processo, devido à saída de água do produto (BOHUON; RAOULT-WACK, 2002).

Estudando a desidratação osmótica de maçãs com concentração de sacarose entre 40 e 60° Brix, sem agitação e com circulação da solução

desidratante, em fluxo laminar, foi concluído que o processo osmótico conduzido no meio agitado apresentou um aumento da taxa de perda de água, enquanto que o ganho de sólidos não foi afetado pela agitação do sistema (MOREIRA; SERENO, 2003).

### **3. Filmes e coberturas biodegradáveis e/ou comestíveis**

Em relação à nomenclatura, a maioria dos pesquisadores utiliza os termos cobertura e filme e indiscriminadamente. No entanto, a cobertura é uma fina camada de material formado diretamente na superfície do produto, enquanto que o filme é pré-formado separadamente e aplicado posteriormente sobre o produto (GONTARD; GUILBERT, 1995; KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997). Podem ser classificados em comestíveis e/ou biodegradáveis, dependendo dos constituintes utilizados para sua produção e da quantidade das substâncias empregadas (SHIH, 1996).

Os filmes e coberturas possuem diferentes funções e, de acordo com a composição, podem inibir ou reduzir a migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, lipídios, aromas, dentre outros, pois promovem barreiras semi-permeáveis. Além disso, podem transportar ingredientes alimentícios como antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes e/ou melhorar a integridade mecânica ou as características de manuseio do alimento (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997).

Por estarem em contato com o alimento, é desejável que os filmes e coberturas apresentem propriedades organolépticas neutras (transparente, inodoro e insípido), de modo a não alterar as características sensoriais dos alimentos (GONTARD, 1991).

### **3.1. Histórico**

O uso de filmes e coberturas comestíveis em produtos alimentícios parece ser uma técnica recente, no entanto, a aplicação de ceras em frutas cítricas vem sendo utilizada desde os séculos XII e XIII, na China, para retardar a desidratação e melhorar a aparência das mesmas (DEBEAUFORT et al., 1998). As ceras apesar de impedirem a perda de água nas frutas, também inibem a troca de gases na respiração, o que pode ser um agravante na questão da fermentação indesejada (ZACTITI, 2004).

No século XV, na Ásia, filmes eram produzidos a partir de nata de leite de soja fervido com o objetivo de melhorar características de aparência e conservação dos alimentos. No século XVI, os europeus protegiam a carne da perda de umidade através da aplicação de gordura animal (LABUZA; CONTRERAS, 1981).

Atualmente, filmes e coberturas são utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo revestimento para lingüiça, coberturas de chocolate para nozes e frutas, e coberturas de ceras para frutas e vegetais. Entretanto, as informações técnicas envolvidas estão longe das adequadas, deixando os cientistas de alimentos com a tarefa de desenvolver filmes e revestimentos específicos para cada tipo de alimento (DONHOWE; FENNEMA, 1993).

### **3.2. Métodos de elaboração**

A escolha dos constituintes do filme tem grande relação com o objetivo da sua posterior aplicação, com o alimento no qual será aplicado e com o método de aplicação (DEBEAUFORT; QUEZADA-GALLO; VOILLEY, 1998).

A elaboração de biofilmes envolve a utilização de diversos componentes, cada qual com sua finalidade específica. Tais formulações são constituídas de pelo menos um agente formador de filme (macromolécula), solvente (água,

etanol), plastificante (glicerol, sorbitol) e aditivos (aromas, vitaminas, antimicrobianos) (CUQ; GONTARD; GUILBERT, 1995).

Os biopolímeros mais utilizados como macromolécula na elaboração de filmes e coberturas comestíveis são as proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten de trigo, zeína, proteínas miofibrilares), os polissacarídeos (amido e seus derivados, pectina, celulose e seus derivados, alginato, carragena) e os lipídios (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, cera, ésteres de ácido graxo) ou a combinação dos mesmos (CUQ; GONTARD; GUILBERT, 1995).

Os filmes elaborados a partir de polissacarídeos ou proteínas possuem excelentes propriedades mecânicas, ópticas e organolépticas, porém são sensíveis à umidade e apresentam alto coeficiente de permeabilidade ao vapor d'água. Ao contrário, as coberturas compostas de lipídios apresentam boas propriedades de barreiras ao vapor d'água, mas são opacas e pouco flexíveis, além de apresentar sabor residual, que pode influenciar as características organolépticas do alimento. A combinação dos biopolímeros tem como vantagem agregar os pontos positivos de cada um dos constituintes utilizados (GALLO et al., 2000).

Os solventes utilizados na elaboração de filmes comestíveis, normalmente, são a água, o etanol ou a combinação de ambos (KESTER; FENNEMA, 1986). A macromolécula ao se dissolver no solvente forma uma dispersão coloidal, isto é, um sistema formado por moléculas dispersas que têm dimensões muito maiores que as moléculas do solvente (XIONG, 1994). Portanto, a solubilização da macromolécula está relacionada com a capacidade da mesma interagir com o solvente usado, sendo este um aspecto determinante na formação de filmes, uma vez que a total solubilização é necessária para o processo de sua formação.

Os plastificantes são um dos principais componentes de biofilmes e provocam um aumento da flexibilidade das cadeias dos polímeros e da resistência

mecânica, diminuindo possíveis descontinuidades e zonas quebradiças (KROCHTA; BALDWIN; NISPERO-CARRIEDO, 1994).

O plastificante é definido como uma substância de alto ponto de fusão e baixa volatilidade, geralmente de baixa massa molecular, que quando adicionada a outro material provoca mudanças nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (McHUGH; KROCHTA, 1997). Além disso, em sua maioria, apresentam caráter hidrofílico e, por serem normalmente moléculas pequenas, são facilmente acoplados entre as cadeias poliméricas devido à sua habilidade em reduzir a formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias, causando um aumento do volume livre ou da mobilidade molecular do polímero (BODMEIER; PAERATAKUL, 1997). A incorporação de plastificante em biopolímeros modifica a organização molecular tridimensional da rede, diminui as forças de atração intermoleculares e aumenta o volume livre do sistema, melhorando a flexibilidade, extensibilidade e adesividade dos filmes (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2000; LIN; CHEN; RUN-CHU, 2000).

O plastificante escolhido para um dado filme deve ser miscível no polímero e no solvente utilizado, sendo que sua concentração na solução elaborada varia de 10 a 60g/100g de matéria seca de polímero. Quanto mais plastificante na formulação, maior a flexibilidade do filme obtido (GUILBERT, 1986). No entanto, se a quantidade de plastificante passar do limite para um dado polímero, pode haver separação de fases, formando resíduos brancos na superfície do filme (DONHHWE; FENNEMA, 1993).

Os efeitos do tipo de plastificante, bem como a escolha de sua concentração é complexa, já que, com o aumento da mobilidade da cadeia, os coeficientes de difusão também aumentam, resultando em maior permeabilidade aos gases e ao vapor de água (FAIRLEY et al., 1996). Entre os plastificantes utilizados em biofilmes, podem ser encontrados mono-, di- e oligossarídeos (glicose e sacarose), polióis (glicerol, sorbitol, derivados de gliceróis), lipídios (ácidos graxos

saturados, monoglicerídeos e derivados de éster, fosfolipídios e surfactantes) e triacetina (FAKHOURI; BATISTA; GROSSO, 2003).

A precipitação simples, a complexa e a geleificação térmica estão entre os mecanismos de formação de filmes. Na precipitação simples, a solução precipita ou sofre mudança de fase devido à evaporação do solvente, adição de outro solvente ou por mudança na estrutura. Na precipitação composta, duas soluções de macromoléculas de carga oposta são combinadas e ocorre interação entre os componentes, com precipitação do complexo polimérico. O processo de geleificação térmica ocorre de forma que o aquecimento de determinadas proteínas (que sofrem desnaturação e precipitação) ou o resfriamento de uma dispersão de hidrocolóides, resulta em uma transição sol-gel (KESTER; FENNEMA, 1986).

Em escala laboratorial, os filmes têm sua formação a partir da distribuição da solução formada sobre um suporte, secagem e posterior retirada do filme formado. As técnicas de aplicação e a viscosidade da solução influenciam na espessura do filme e a aderência está relacionada às interações entre as moléculas e o material do suporte (DEBEAUFORT; QUEZADA-GALLO; VOILLEY, 1998).

As condições ambientais, como a temperatura, também influenciam na qualidade do filme. Temperaturas altas, por exemplo, podem ocasionar uma evaporação excessiva do solvente no momento da secagem, prejudicando a coesão e continuidade do filme (BANKER, 1966).

A produção de filmes e aplicação de coberturas comestíveis em níveis industriais ocorre da seguinte forma (DEBEAUFORT; QUEZADA-GALLO; VOILLEY, 1998):

(i) Filmes são produzidos por extrusão ou coextrusão (no caso de multicamadas), laminação e secagem (para remoção do solvente);

(ii) Coberturas: fluidização com atomização, painéis drageadoras, aspersão, imersão ou lavagem. Após essas etapas, ocorre a secagem (coberturas aquosas) ou resfriamento (coberturas com base lipídica).

O processo de fabricação de filmes de materiais baseados em biopolímeros pode ser de dois tipos: úmido ou seco. O processo úmido requer a dispersão da macromolécula formando uma solução formadora de filme e tem sido extensivamente estudada e aplicada para produzir filmes comestíveis, biodegradáveis e coberturas (KESTER; FENNEMA, 1986). O processo seco, por sua vez, se baseia nas propriedades termoplásticas de alguns biopolímeros (principalmente amido e proteínas) em condições de baixo conteúdo de umidade e tem sido aplicada com sucesso por usar tecnologia comum de processo de fusão, como a extrusão (FRITZ et al., 1994).

### **3.3. Características dos biofilmes**

Na produção de biofilmes, pela técnica de *casting*, diversas características, entre as quais se destacam a espessura, solubilidade em água, sabor, aroma, cor, opacidade, são importantes para a escolha da aplicação e também aceitação do produto pelo consumidor.

#### **3.3.1. Espessura**

O controle da espessura dos filmes é importante para sua uniformidade, repetibilidade das medidas e validade das comparações entre as propriedades dos biofilmes (GENNADIOS et al., 1993). O controle da espessura pode ser obtido fixando a alíquota ou a espessura de espalhamento, porém deve-se levar em consideração as características das formulações (SOBRAL, 1999).

### **3.3.2. Solubilidade em água**

A solubilidade em água é uma propriedade importante dos filmes comestíveis no que se refere ao seu emprego, pois algumas aplicações requerem insolubilidade em água para manter a integridade do produto (PEREZ-GAGO; KROCHTA, 2001), como nos casos de utilização como proteção de alimentos onde a atividade de água é alta ou onde o filme é submetido ao contato com água durante o processamento do alimento embalado (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1992). Porém, em alguns casos, a solubilidade em água é requerida (PEREZ-GAGO; KROCHTA, 2001), como nos casos em que os produtos desidratados devem sofrer uma hidratação prévia ao consumo (sopas instantâneas, arroz semi-prontos), porém, neste caso, os filmes devem ser necessariamente comestíveis (MONTERREY-QUINTERO, 1998).

### **3.3.3. Sabor e aroma**

Como os filmes e/ou coberturas comestíveis estarão em contato com os alimentos, é desejável que os mesmos apresentem características sensoriais neutras, de modo a não alterar as características dos alimentos. Filmes à base de hidrocolóides apresentam geralmente características sensoriais mais neutras que os formados de lipídios ou derivados, os quais podem apresentar sabor residual (GONTARD; GUILBERT, 1996).

### **3.3.4. Cor e opacidade**

Os filmes devem apresentar opacidade e coloração atrativas, e não devem sofrer alteração de cor com o tempo de armazenamento, para não prejudicar a aceitação do produto acondicionado. A transparência e a opacidade do polímero é conseqüência da morfologia ou estrutura química relacionada à massa molecular do material (CHEN, 1995). Quando a transparência é essencial para a aplicação

de cobertura na superfície de um determinado produto, o uso de material lipídico, como cera de carnaúba ou cera de abelha deve ser limitada (GONTARD et al., 1994).

### **3.3.5. Propriedades dos filmes**

Os filmes podem apresentar diferentes características e propriedades físico-químicas e mecânicas dependendo da formulação e do processo de fabricação.

#### **3.3.5.1. Propriedades de barreira**

##### **3.3.5.1.1. Propriedades de barreira ao vapor de água**

A migração de vapor de água é um dos principais fatores de alteração da qualidade sensorial e da estabilidade da estocagem (CHEN, 1995). A cinética enzimática ou reações químicas, propriedades de textura e estabilidade microbiana e física de produtos alimentícios são fortemente influenciadas pelo conteúdo de umidade e podem mudar drasticamente a qualidade do alimento durante o processamento e estocagem (GONTARD et al., 1994). O coeficiente de permeabilidade ao vapor de água é definido como a transferência do vapor permeante através de um material. A transferência de água em materiais poliméricos ocorre por difusão molecular. Esse processo envolve três etapas: (i) movimento do permeante para a superfície da estrutura do filme e sua adsorção na matriz polimérica; (ii) difusão através dos poros formados pelo movimento da cadeia polimérica do filme ou na própria fabricação e (iii) evaporação a partir da superfície do filme e sua conseqüente dispersão no ar (KESTER; FENNEMA, 1986).

### **3.3.5.1.2. Propriedades de barreira a gases**

A transferência de oxigênio do meio ambiente para o alimento tem grande importância na qualidade do mesmo e na sua vida útil. O oxigênio causa deterioração do alimento, modificando as características sensoriais e nutricionais (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2000), e pode influenciar de forma significativa na sua estabilidade durante o armazenamento. A deterioração devido à permeabilidade ao oxigênio ocorre em muitos produtos alimentícios, envolvendo a oxidação de lipídios, vitaminas, compostos de sabor e pigmentos (KESTER; FENNEMA, 1986).

O desenvolvimento de filmes e coberturas comestíveis com permeabilidade seletiva de gases é potencialmente interessante no controle da respiração causando um efeito de atmosfera modificada, as quais promovem um aumento na preservação das frutas (GONTARD et al., 1996).

### **3.3.5.2. Propriedades mecânicas**

As principais propriedades mecânicas dos filmes são a resistência à tração e a alongação. A resistência à tração é expressa pela máxima tensão suportada pelo filme até o momento de sua ruptura (MACLEOD; FELL; COLLETT, 1997). A alongação é a habilidade do filme em se estender. Os filmes obtidos devem ser resistentes à ruptura e à abrasão, fazendo com que o alimento não perca sua integridade e proteção por manuseio e transporte. Além disso, ele deve possuir flexibilidade suficiente para se adaptar a eventuais deformações no alimento sem dano mecânico (GONTARD et al., 1994).

Filmes comestíveis preparados à base de polissacarídeos e hidrocolóides são resistentes, enquanto os filmes de lipídios caracterizam-se por apresentarem baixa resistência mecânica (KESTER; FENNEMA, 1986).

### 3.4. Filmes de pectina

As pectinas são polissacarídeos com função estrutural, que podem ser encontradas na parede celular primária e nas camadas intercelulares de plantas terrestres, sendo mais abundantes em frutos e em tecidos jovens, como cascas e polpas de frutas cítricas (30%), dentre as quais o limão é a fonte mais abundante (ASPINALL, 1970). Além disso, também é obtida da maçã, sementes de girassol e polpa de beterraba (THAKUR; SINGH; HANDA, 1997).

É um polissacarídeo solúvel em água, muito utilizado como espessante na indústria alimentícia, pois é capaz de promover um aumento de viscosidade quando submetida à hidratação (BATISTA, 2004).

Quanto às características estruturais, as moléculas de pectina são constituídas de uma cadeia linear principal com unidades repetidas de (1 $\Rightarrow$ 4)- $\alpha$ -D-ácido galacturônico, com parte destas unidades na forma esterificada, como éster metílico. As cadeias de resíduos galacturonato são, porém, interrompidas por unidades de (1 $\Rightarrow$ 2)- $\alpha$ -L-ramnose, às quais estão ligadas cadeias laterais, formadas por açúcares neutros. Essas cadeias laterais são responsáveis pela união das moléculas de pectina à matriz polissacarídica da parede celular vegetal (HWANG; PYUN; KOKINI, 1993).

As pectinas podem ser subdivididas em duas classes: alto grau de metoxilação (>50% de seus grupos carboxílicos esterificados) e baixo grau de metoxilação (<50% de seus grupos carboxílicos esterificados). O grau de esterificação é a porcentagem de unidades de ácidos galacturônicos que são metil esterificados (ROLIN; de VRIES, 1990). O grau de esterificação varia de acordo com a idade e localização dentro do tecido da planta, método de extração e conteúdo de açúcares neutros (HWANG; PYUN; KOKINI, 1993). Estruturalmente, a presença de cadeias laterais, principalmente com unidades de arabinose e galactose, afeta as propriedades das moléculas, como solubilidade, geleificação, formação de filme e propriedades reológicas (HWANG; KOKINI, 1992).

As pectinas de alto grau de metoxilação têm grande poder geleificante e são amplamente usadas na geleificação de sucos de frutas para a obtenção de geléias, pois geleificam em meio ácido, em presença de altas concentrações de um co-soluto, geralmente sacarose (CHRONAKIS et al., 1997; AL-RUQAIE et al., 1997).

A preparação de pectinas de baixo grau de metoxilação ocorre por desesterificação controlada a partir da pectina de alto teor de esterificação, em meio alcoólico, com ácido ou amônia (AXELOS; THIBAUT, 1991). No caso do uso de amônia, alguns dos grupos metil éster são substituídos pelos grupos amidas dando origem à pectina amidada (ROLIN; de VRIES, 1990). Em pectinas de baixo teor de esterificação a geleificação é provocada pela formação de ligações entre íons carboxílicos e íons de cálcio, ou outro metal bi ou trivalente, sem adição de ácido ou sacarose, como ocorre normalmente com a geleificação das pectinas de alto teor de esterificação (RINAUDO, 2001). A geleificação das pectinas de baixo teor de esterificação resulta da ligação iônica através de pontes com cálcio a dois grupos carboxílicos pertencentes a duas cadeias diferentes, próximas fisicamente (GROSSO; BOBBIO; AIROLDI, 2000). Em um sistema geleificante, quando o nível ótimo de cálcio é excedido o gel pode tornar-se muito quebradiço e um estágio denominado sinerese pode ocorrer (MAY, 1997).

A pectina é solúvel em água a 60°C e forma uma solução viscosa, no entanto, é preciso cuidado ao dispersar o pó rapidamente em água, evitando assim a formação de grumos que são de difícil dissolução. Quando submetida a condições pouco ácidas (pH 5,0 ou acima) ou a temperaturas elevadas, as pectinas podem ser facilmente degradadas (MAY, 1997).

Fatores como pH, temperatura, concentração do soluto, número e arranjo das cadeias laterais, tamanho molecular e grau de esterificação influenciam no processo de geleificação da pectina (THAKUR; SINGH; HANDA, 1997).

Os biofilmes de pectina reduzem: (i) a migração de água (KESTER; FENNEMA, 1986); (ii) as trocas gasosas e (iii) a migração de óleo (ALBERT; MITTAL, 2002).

### 3.5. Filmes de alginato

Alginatos são polímeros lineares estruturais de alta massa molecular (20.000 a 600.000 Daltons) encontrados na parede celular e espaço intercelular de algas marrons Phaeopyceae (ONSOYEN, 1997), sendo que as espécies mais utilizadas para a sua produção comercial são: *Macrocystis pyrifera*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria hyperborea* e *Laminaria digitata* (DZIEZAK, 1991).

O ácido algínico é um ácido poliurônico constituído por monômeros de ácidos  $\beta$ -D-manurônico (M) e  $\alpha$ -L-gulurônico (G), ligados por ligações glicosídicas do tipo 1,4 (ONSOYEN, 1997). Os monômeros são organizados em blocos ao longo da cadeia, que podem ser compostos por dois blocos de homopolímeros (MM e GG) junto com blocos alternados (MG) na mesma molécula (SMIDSROD, 1974). A diferença na seqüência e no conteúdo de blocos determina a flexibilidade da cadeia, influenciando na solubilidade e estabilidade do gel que será formado (ERTESVÁG; VALLA, 1998). A relação destes ácidos é fundamental na formação do gel, quando o alginato apresenta alta proporção de ácido gulurônico, o gel formado é rígido e firme; o oposto, com alta proporção de ácido manurônico é mais usado como espessante (LITTLECOTT, 1982).

É um polissacarídeo autodegradável quando aquecido por tempo prolongado. A viscosidade aumenta em pH abaixo de 4 e também pela presença de íons de cálcio ou cátions polivalentes, chegando a formar géis. Sais formados por íons monovalentes (sódio, potássio e amônio) formam alginatos solúveis em água e por íons multivalentes (cálcio, magnésio e cromo) insolúveis em água (ZACTITI, 2004).

Segundo ALLEN et al. (1963a), o cloreto de cálcio é o agente geleificante mais efetivo, sendo sua função estabelecer a associação cooperativa dos segmentos poliméricos M e G, formando estruturas agregadas. Esses íons têm como efeito promover a ligação entre as cadeias de alginato por interações iônicas, após terem ocorrido as pontes de hidrogênio entre as mesmas (BRYCE et al., 1974).

Os filmes de alginato são formados pela evaporação de uma solução de alginato seguida pela formação de ligações cruzadas iônicas com um sal de cálcio. Eles são impermeáveis a óleos e gorduras, entretanto são barreiras deficientes quanto à umidade (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 1984). As coberturas de gel de alginato podem reduzir significativamente a perda de umidade dos alimentos, isto porque a umidade é perdida pela cobertura antes do alimento se desidratar significativamente. Coberturas de alginato são boas barreiras ao oxigênio (WHISTLER; BEMILLER, 1997), podem retardar a oxidação lipídica dos alimentos e melhorar o sabor, textura e a adesão (KESTER; FENNEMA, 1986).

O alginato é um polissacarídeo com característica hidrofílica e, devido a essa natureza, os filmes formados possuem alta permeabilidade ao vapor d'água (BALDWIN et al., 1997). Uma vantagem do alginato é o fato dele poder ser dissolvido em água, formando soluções de diversas viscosidades e diferentes perfis reológicos. Além disso, o alginato é termoestável e após formado, o gel mantém sua forma, mesmo se submetido a tratamentos térmicos (ZACTITI, 2004).

### **3.6. Filmes de metilcelulose**

A metilcelulose é obtida através do tratamento da celulose com solução de hidróxido de sódio (NaOH). A celulose é um homopolissacarídeo neutro formado por cadeias retilíneas de anidro D-glicose unidas em  $\beta$ -1,4, ou seja, contém unidades do dissacarídeo celobiose (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

Para alimentos, o melhor produto tem um grau de substituição correspondente a 1,6 - 2,0 grupos metoxilas por unidade de glicose. Esse grau de substituição permite uma maior solubilidade em água fria pela maior facilidade de penetração das moléculas de água entre as cadeias que estarão mais afastadas pela presença dos grupos metoxila. Soluções de metilcelulose, quando aquecidas, perdem viscosidade até atingir temperatura próxima de 50-60°C quando formam um gel. Sais e açúcares diminuem a temperatura de geleificação, enquanto o etanol eleva a temperatura. Metilcelulose forma filmes aquosolúveis e é estável em soluções entre pH 3 e 11 e em presença de eletrólitos (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

A celulose e os seus derivados, que incluem éteres e ésteres são, juntamente ao amido, fontes de grande importância na produção de filmes comestíveis. Um dos tipos de celulose modificada é a metilcelulose, que é um composto solúvel em água e com boas características filmogênicas. Os plastificantes mais eficazes para os filmes de metilcelulose são glicerol e polietileno glicóis (DONHOWE; FENNEMA, 1993; PARK et al., 1993).

De acordo com CARULO (2005), os biofilmes de metilcelulose têm função de reduzir: (i) a permeabilidade ao dióxido de carbono e ao oxigênio; (ii) a degradação de óleo; (iii) a perda da umidade e (iii) a absorção de óleo.

#### 4. Palma

O dendezeiro ou palma africana, como também é conhecido, é uma palmeira originária da África que pertence à Família *Aceraceae* (Palmáceas) que pode atingir até 20 metros de altura. As folhas atingem até 5 metros de comprimento. Os frutos são formados em cachos que, quando maduros, possuem um peso médio de aproximadamente 20Kg (**Figura 1.1**). Os frutos possuem formato ovóide, com coloração variando de amarelado a avermelhado quando maduros e são ricos em óleo (GRUPO AGROPALMA, 2008).



**Figura 1.1** Palma, cachos e frutos.

Do dendezeiro utilizam-se os frutos, cachos vazios, fibras, cascas da amêndoa (caroço) e estipe (caule). Do fruto, são extraídos o óleo de palma (mesocarpo) e o óleo de palmiste (endocarpo). Com as fibras das folhas e dos cachos de frutos vazios podem ser confeccionados materiais de média densidade para tampos e artesanatos. As fibras dos frutos e cascas das amêndoas são utilizadas como combustível nas caldeiras. Os estipes podem ser transformados em móveis ou utilizados para construções rústicas (GRUPO AGROPALMA, 2008).

#### **4.1 Óleo de palma**

O óleo de palma é extraído da polpa e apresenta quantidades aproximadamente iguais de ácidos graxos saturados e insaturados. Sendo que os ácidos insaturados incluem 39% de ácido oléico (18:1n-9) e 10% de ácido linoléico (18:2n-6); já os ácidos saturados incluem 44% de ácido palmítico (16:0) e 5% de

ácido esteárico (18:0). Em comparação, o óleo de palmiste é 54-70% saturado, incluindo uma grande quantidade de ácido láurico similar ao óleo de coco. Entretanto, os dois óleos são livres de grande quantidade de ácidos graxos altamente insaturados como o alfa-linolênico, e, portanto, têm poucos problemas de reversão de sabor (GIESE, 1996).

A grande variedade de frações obtidas a partir do óleo de palma amplia sua utilização em diversos alimentos, tais como: margarinas, massas de sorvetes, achocolatados, extrusados, gorduras para fritura, panificação, biscoitos, etc. O óleo de palma normalmente é extraído e refinado através de processos físicos, o que não demanda a adição de produtos químicos (GRUPO AGROPALMA, 2008).

O óleo de palma, apesar de não conter ácidos graxos *trans*, contém cerca de 50% de ácidos graxos saturados, tornando-o atrativo para o uso em diversos produtos, principalmente quando é modificado pela interesterificação e/ou fracionamento (LIST, 2004). Esta matéria-prima também apresenta alto teor de gordura sólida, com consistência firme sem necessidade de hidrogenação, tem boa vida útil, pois é resistente à oxidação. Por outro lado, este óleo apresenta lenta cristalização que resulta em problemas no resfriamento e embalagem, pois após a embalagem são macios, porém, decorrido um período, em que se completa o desenvolvimento de cristais, tornam-se duros. Durante o período de armazenamento, misturas baseadas em óleo de palma desenvolvem textura arenosa (GODOY, 2001).

#### **4.1.1 Aspectos econômicos**

O óleo de palma é o óleo vegetal mais produzido e consumido no mundo. Desde 2004, quando ultrapassou o óleo de soja e ocupou a posição de primeiro lugar na produção mundial de óleos e gorduras vêm apresentando um crescimento expressivo, como, no período de 1998 até 2007 que foi de 126%, com produção mundial no ano de 2007 de 38,24 milhões de toneladas; neste mesmo

período considerado, o óleo de soja atingiu crescimento de 56%, menos da metade do óleo de palma e com produção mundial no ano de 2007 de 37,48 milhões de toneladas (OIL WORLD ANNUAL; OIL WORLD WEEKLY, 2007).

O expressivo crescimento do óleo de palma é explicado em função dos seguintes fatores: (i) o forte apelo ecológico da cultura agrícola do dendê, dados os seus reduzidos níveis de impacto ambiental e expressivos níveis de “seqüestro de carbono”; (ii) sua versatilidade, pois dele se obtém algo em torno de 145 produtos industrializados; (iii) substitui a gordura animal na culinária com vantagens para a saúde humana; (iv) sua produtividade é maior do que a de produtos concorrentes (3500 a 6000 Kg/ha, contra 400 a 600 Kg/ha do óleo de soja); (v) a dendeicultura exige pouca mecanização e reduzido emprego de defensivos agrícolas (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2003).

Em 2007, os países com a maior produção de óleo de palma foram a Indonésia e Malásia, com produção de 16,80 e 15,82 milhões de toneladas, respectivamente, sendo responsáveis por mais de 85% da produção mundial. O Brasil ocupa o 11º lugar entre os países com maior produção de óleo de palma, ficando atrás dos países da América Latina como Colômbia, Equador e Costa Rica (OIL WORLD ANNUAL; OIL WORLD WEEKLY, 2007). A produção do Brasil, em 2007, foi de 190 mil toneladas, o que representa 0,5% da produção mundial. A produção nacional não é suficiente para atender a demanda interna e, em razão disso, entre 2003 e 2007, o país importou cerca de 522.466 toneladas de óleo de palma, palmiste e derivados, com um crescimento de 238% na quantidade importada (GRUPO AGROPALMA, 2008).

## **4.1.2 Propriedades físico-químicas**

### **4.1.2.1 Oleína de palma**

A oleína de palma é obtida por fracionamento natural do óleo de palma refinado, que consiste em operações de resfriamento e filtração sem uso de aditivos químicos. À temperatura ambiente ela é líquida, podendo apresentar precipitação de triacilgliceróis de maior ponto de fusão, caso este produto seja estocado em ambientes frios. Devido ao seu baixo teor de ácido alfa-linolênico (18:3n-3), este produto possui elevada resistência à oxidação e, por não ter sido submetida a processos de hidrogenação, é livre de ácidos graxos trans (AGROPALMA, 2008).

### **4.1.2.2 Estearina de palma**

A estearina também é obtida por fracionamento natural do óleo de palma refinado, que consiste em operações de resfriamento e filtração sem uso de aditivos químicos. Devido ao seu alto teor de triacilgliceróis saturados de alto ponto de fusão este produto é sólido a temperatura ambiente e por não ter sido submetido a processos de hidrogenação artificial também é livre de ácidos graxos trans. Devido as suas características físicas peculiares, este produto substitui, com vantagens, a diversas gorduras hidrogenadas na indústria de alimentos (AGROPALMA, 2008).

## **5. Processo de fritura**

A aceitação de alimentos submetidos ao processo de fritura é universal e apreciada por todas as idades e classes sociais. O processo de fritura pode ser definido como uma secagem, cozimento ou desidratação rápida, em que a

remoção de água do alimento ocorre pela imersão do mesmo em óleo na faixa de temperatura de 120 a 180°C (VITRAC et al., 2000; TO REZAN, 2005).

A água do alimento desempenha um papel importante durante o processo de fritura, captando a energia térmica do óleo quente que está em contato com o alimento. Esta redução de energia evita que o alimento se queime. A conversão de água líquida em vapor, quando esta sai do alimento, consome parte da energia do óleo, assim, mesmo que o óleo esteja em temperaturas acima de 100°C, a temperatura do alimento se mantém na temperatura de ebulição da água até que toda a água da superfície seja removida (BLUMENTHAL, 1991). A transferência de calor é realizada pela combinação da convecção pelo contato da superfície do alimento com o óleo e uma difusão do calor para o interior do produto (ATHANASE, 1998). A velocidade de transferência de calor e, conseqüentemente, de massa é dependente da diferença entre a temperatura do óleo e a temperatura de ebulição da água dentro do produto (DIAZ et al., 1996).

O óleo atua como o meio de transferência de calor e seu alto poder calorífico e o contato direto com o alimento durante o processo levam à remoção de água do alimento de maneira rápida e eficiente (TOREZAN, 2005). Gorduras e óleos são líquidos com alto ponto de ebulição, acima do ponto de ebulição da água. O óleo mantém-se líquido durante o processo de fritura enquanto a água do alimento é vaporizada e removida na forma de bolhas de vapor em turbulência (VITRAC et al., 2000).

Assim, como resultado da fritura, transformações são verificadas nas propriedades físico-químicas e sensoriais do produto. Os produtos se tornam crocantes e mais agradáveis em sua textura. O processo de fritura também confere ao alimento uma cor dourada, brilhante e uniforme, melhorando sua apresentação e aumentando sabores e aromas, devido ao próprio óleo ou ao desenvolvimento de novos compostos. A conservação do produto é prolongada pela destruição de microrganismos e enzimas presentes nos alimentos e sua palatabilidade é aumentada como conseqüência da perda de umidade e

incorporação de óleo (BLUMENTHAL, 1996). O óleo na fritura apresenta dupla função: (i) atua como um meio transmissor de calor e (ii) constitui-se em novo ingrediente do produto frito ao ser absorvido pelo mesmo (CELLA et al., 2002). A absorção do óleo pelo alimento oscila entre 10 a 60%, podendo ser influenciada por uma série de parâmetros, os quais atuam sobre as velocidades de transferências de massa e energia entre o óleo e o alimento e que são dependentes do próprio alimento, do óleo e das condições de fritura (SMITH et al., 1985).

O processo de fritura pode ser classificado quanto às dimensões do equipamento utilizado em: (i) fritura profunda ou por imersão (*deep fat frying*) e (ii) superficial. Esta definição se baseia no fator R proposto por GUILLAUMIN (1973), definido como a relação da área superficial do banho ( $S$ ) medido em  $\text{dm}^2$  e o volume ( $V$ ) do óleo expresso em  $\text{dm}^3$  (GRAILLE, 1997). No caso dos *chips*, é utilizada a fritura por imersão (TOREZAN, 2005).

A fritura também pode ser classificada em contínua e descontínua. O processo descontínuo ou batelada é caracterizado por ciclos de aquecimento e resfriamento. Na fritura contínua, o alimento está sempre presente na fritadeira e a razão de reposição com óleo novo, devido à absorção pelo produto sendo frito, é a variável mais importante no controle da qualidade do óleo (DOBARGANES, 1997).

A fritura é uma operação complexa que envolve vários parâmetros dependentes do: (i) próprio alimento, (ii) do óleo de fritura e (iii) do processo.

As características dos alimentos, como a composição química, o tipo de tecido celular (vegetal ou animal) (MOREIRA et al., 1999) e a variedade (VITRAC et al., 2000), no caso de vegetais, são parâmetros importantes no processo de fritura. A umidade inicial do alimento é um fator crítico para a qualidade final, pois determina para uma mesma umidade no produto final, teores de incorporação de óleos e tempo de processos diferentes (VITRAC et al., 1997). A relação superfície/volume do alimento em contato com o meio de fritura é muito importante

em relação à absorção de óleo. Cada tipo de alimento frito costuma ter um conteúdo característico de óleo absorvido, dependendo, sobretudo, da distância entre a parte interna e a superfície do alimento. O conteúdo lipídico em alimentos com elevada relação superfície/volume é muito mais elevado, como é o caso das batatas *chips*, do que os que apresentam uma relação menor, batatas palitos (PAUL; MITTAL, 1997).

As propriedades do óleo que influem no processo de fritura são: (i) composição química (em ácidos graxos insaturados, poli-insaturados ou saturados); (ii) características físico-químicas; (iii) ponto de fusão; (iv) presença de contaminantes e aditivos, podendo causar efeito na palatabilidade, digestibilidade e utilização metabólica do alimento frito (TOREZAN, 2005; QUERIDO, 2005). O tipo de óleo representa o componente mais crítico no sistema de fritura, pois deve apresentar características como: (i) alta resistência à oxidação, à polimerização e à formação de gomas; (ii) baixa taxa de formação de espuma; (iii) baixo ponto de fusão; (iv) pouco escurecimento; (v) ausência de odor e (vi) custo acessível (TOREZAN, 2005).

A degradação do óleo depende da maior ou menor presença de ácidos graxos insaturados em sua composição. Óleos vegetais que possuem uma grande quantidade de ácidos graxos poli-insaturados estão mais sujeitos à oxidação do que óleos que possuem maior quantidade de ácidos graxos saturados (LOLOS et al., 1999).

No processo de fritura o alimento é submerso no óleo quente e assim, é exposto a três fatores que causam mudanças em sua estrutura: (i) água proveniente do alimento, que leva a alterações hidrolíticas; (ii) oxigênio, que leva a alterações oxidativas e (iii) temperatura que resulta em alterações térmicas (DOBARGANES; PÉREZ-CAMINO, 1991).

As reações hidrolíticas ocorrem nos triacilgliceróis, constituintes majoritários dos óleos e gorduras, liberando mono e diacilgliceróis, ácidos graxos livres e glicerol.

As reações térmicas e oxidativas, que ocorrem prioritariamente nas ligações dupla dos ácidos graxos livres ou esterificados à molécula de glicerol, como mono, di e triacilgliceróis, formam principalmente as substâncias dos grupos dos monômeros de triacilgliceróis oxidados (monômeros oxidados) e dos triacilgliceróis dimerizados e polimerizados (dímeros e polímeros). Estas reações também podem levar à degradação dos ácidos graxos, livres e ligados, formando aldeídos, cetonas e substâncias cíclicas, dentre outras (FRITSCH, 1981).

Devido à complexidade do processo, não há um único método analítico que possa detectar todas as situações que envolvem a deterioração de óleos no processo de fritura. A determinação dos compostos polares totais por cromatografia em coluna tem sido reportada por vários autores como um dos melhores métodos da determinação do estado de alteração do óleo de fritura (CELLA et al., 2002). Existem também alguns métodos de avaliação da estabilidade oxidativa que monitoram as alterações ocorridas na amostra, mediante análises como índice de peróxidos, análise sensorial, determinação de dienos conjugados, valor de carbonila, análise de voláteis, como *Rancimat* e *Oil Stability Instrument* (ANTONIASSI, 2001).

Os principais parâmetros do processo de fritura incluem a temperatura do óleo, o tempo de residência do produto na fritadeira e tipo de equipamento utilizado (TOREZAN, 2005).

A temperatura do óleo e o tempo de residência são as principais variáveis no mecanismo de transferência de massa (perda de água e incorporação de óleo), bem como transformações e reações no produto (VITRAC et al., 2002). Com uma temperatura baixa, a estabilidade do óleo é favorecida, mas ocorrerá um excesso de absorção de óleo. Em contrapartida, uma temperatura elevada provocará um

cozimento excessivo do alimento por fora e permanecerá cru por dentro, resultando também em maiores alterações no óleo de fritura (KUPRANYCS et al., 1986). Além da temperatura, a incorporação de óleo está relacionada a mudanças na microestrutura durante a fritura, como enrugamento da superfície, porosidade e distribuição de poros (TOREZAN, 2005).

O tempo de aquecimento do óleo influencia na quantidade de compostos de alteração formados durante a fritura. O sistema intermitente de aquecimento das frituras descontínuas é muito mais destrutivo para os óleos e gorduras de frituras que no sistema de aquecimento contínuo. Uma das explicações atribui este efeito ao fato de que, em elevada temperatura, as reações oxidativas ocorrem fundamentalmente na superfície de contato com o ar; enquanto durante o resfriamento, ao diminuir a velocidade das mesmas e aumentar a solubilidade do ar, favorece a entrada de ar na massa, produzindo maior quantidade de hidroperóxidos e radicais livres durante o posterior aquecimento (POZO-DÍEZ, 1995).

Segundo MOREIRA et al. (1997), o mecanismo de absorção de óleo em *tortilla chips* pode estar associado a três estágios distintos: pré-fritura, fritura e pós-fritura.

(i) Pré-fritura: é caracterizada pelas condições do material *in natura* antes da fritura e o teor de óleo pode ser considerado zero. As características iniciais do material mais importantes são teor de umidade e propriedades físicas como a porosidade e a densidade de cada componente (sólido, água e ar);

(ii) Fritura: ocorrem as mudanças no alimento. O teor de umidade é reduzido; propriedades físicas como condutividade térmica, calor específico e densidade diminuem. Há um aumento da porosidade como resultado da evaporação da água. Apenas 20% do total de óleo é absorvido neste período.

(iii) Pós-fritura: inicia quando o produto é removido da fritadeira. A temperatura dentro dos *chips* diminui até atingir a temperatura ambiente. O teor de

água é constante e as propriedades físicas (com exceção da densidade volumétrica) não se alteram. Nesta etapa, é absorvida a maior parte da quantidade de óleo pelo material (80%). Isto ocorre porque, durante o resfriamento, com a diminuição da temperatura do material, a tensão superficial entre o óleo e o gás aumenta, resultando em um aumento da pressão capilar que leva o óleo aderido na superfície a fluir em direção aos poros do produto, aumentando o teor de óleo dentro do mesmo.

Outro aspecto importante que influi no grau de absorção de óleo pelo alimento é a qualidade do óleo. A autooxidação, a oxidação térmica e a polimerização aumentam a viscosidade do meio de fritura, uma vez que, à medida que o óleo vai se alterando, produz-se aumento no tempo de cozimento e, conseqüentemente, maior absorção de óleo por parte do alimento frito (DOBARGANES et al, 2000).

Um dos parâmetros mais importantes da qualidade de produtos fritos é a quantidade de óleo incorporado durante o processo, principalmente pelo fato de ser incompatível com a tendência mundial do consumo de produtos saudáveis e o com baixo teor de calorias e gordura (BOUCHON; PYLE, 2004). Os produtos fritos podem variar no teor de óleo, podendo chegar a cerca de 35% para batata *chips* (SAGUY et al., 1998).

De acordo com diversos estudos, a diminuição da incorporação de óleo pode ser conseguida pela utilização de pré-tratamentos para redução do teor de água inicial, como: (i) secagem por microondas ou ar quente (MOREIRA et al., 1999); (ii) desidratação osmótica (MOYANO; BERNA, 2002); (iii) utilização de coberturas de hidrocolóides, como metilcelulose, adicionados à coberturas de empanados (BOUCHON; PYLE, 2004), ou como pectinas e alginatos, aplicados diretamente sobre a superfície dos *chips* (QUERIDO, 2005); e pós- tratamentos como a secagem com ar quente e secagem com vapor superaquecido (BOUCHON; PYLE, 2004).

## 5.1 Desidratação osmótica antes da fritura

A utilização da desidratação osmótica como pré-tratamento à fritura vêm sendo estudada por diversos pesquisadores. A desidratação parcial do material, que reduz o teor de água inicial e, portanto, o tempo do processo subsequente de fritura, juntamente com a impregnação por soluto, que possui um efeito positivo na diminuição da incorporação de óleo pelo produto, resultam em produtos fritos de melhor qualidade (TOREZAN, 2005).

Estudo realizado em *chips* de banana, utilizando solução osmótica de 20% de glicose e cloreto de sódio como pré-tratamento à fritura, reduziu a incorporação de óleo pela metade, após o processo de fritura em óleo de girassol (IKOKO; KURI, 2007).

LENG et al. (1997) realizaram como pré-tratamentos o branqueamento (65 e 75°C) e a secagem com ar (30, 40 e 50°C) em batata- doce fatiada nas espessuras de 0,5; 1 e 2 mm. Os autores observaram que a absorção máxima de óleo ocorreu no primeiro minuto de fritura para todas as espessuras sem distinção dos pré-tratamentos. Esta absorção foi da ordem de 21 a 25% na espessura de 0,5 mm e da ordem de 15 a 20% nas outras duas espessuras. Verificaram ainda que a diminuição do teor de água é influenciada pela espessura e pelos pré-tratamentos, ao passo que a absorção de óleo é mais influenciada pela espessura.

KROKIDA et al. (2001) estudaram o uso da desidratação osmótica como pré-tratamento à fritura com o objetivo de produzir batata frita tipo “francesa” ou palito. Foram utilizados 4 tipos de solução osmótica: glicose (40%), NaCl (20%), maltodextrina DE 12 (20%) e maltodextrina DE 21 (20%), à temperatura de 40°C durante 3 horas. Em seguida, o material foi submetido à fritura, a temperatura de 170°C, e retirado após os tempos de 0,3; 0,6; 1; 3; 5; 7; 10; 13 e 15 minutos. A utilização de solução de 40% de glicose reduziu em 60% a incorporação de óleo, enquanto que a solução de 20% de cloreto de sódio, 20% de maltodextrina-12 e 20% de maltodextrina-21 minimizou em, 35%, 20% e 15% respectivamente.

MOYANO; BERNA (2002) estudaram o efeito da impregnação de sacarose e NaCl na perda de água e incorporação de óleo durante fritura de tiras de batata (7x7x7mm). O processo de impregnação foi conduzido em um banho com controle de temperatura (30°C) e agitação (30 rpm), durante 15 minutos, utilizando uma solução sacarose - NaCl - água, na proporção de 4:1:15 (sacarose:sal:água, em massa). Após o processo osmótico de desidratação-impregnação, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até teor de umidade final de 60%. O material impregnado e seco e o material controle (apenas seco) foram submetidos à fritura em óleo de girassol, nas temperaturas de 160, 170 e 180°C. Os autores verificaram uma diminuição da incorporação de óleo no produto impregnado e seco, cerca de 15% (temperatura de 180°C), e atribuíram esta redução à formação de uma barreira sólida de soluto durante o pré-tratamento osmótico, permeável à saída de vapor, mas que dificulta a entrada de óleo no processo de fritura.

## **5.2 Coberturas comestíveis antes da fritura**

As coberturas mais utilizadas para reduzir a migração do óleo para o alimento no processo de fritura são os hidrocolóides, os lipídios ou a combinação de ambos. Os hidrocolóides são especialmente interessantes, pois possuem boa propriedade de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídios (WILLIAMS; MITTAL, 1999). Dentre os hidrocolóides mais utilizados como coberturas estão as proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos. Dois critérios são importantes para a escolha de um material que possa ser utilizado como barreira para incorporação de óleo no produto durante a fritura, permeabilidade ao óleo e resistência a altas temperaturas (ALBERT; MITTAL, 2002).

MALLIKARJUNAN et al. (1997), utilizando batatas maceradas na forma de esferas de 47 mm de diâmetro como modelo, estudaram o efeito de coberturas de

zeína de milho, metoximetilcelulose e metilcelulose, conseguindo uma redução do teor de óleo de 59; 61,4 e 83,65%, respectivamente.

KHALIL (1999), trabalhando com batatas, estudou diversas concentrações de pectina ou alginato de sódio nas concentrações de 1; 2; 3; 4; 5 e 6% com cloreto de sódio nas concentrações de 0; 0,1; 0,3; 0,5 e 0,7%. A combinação que apresentou menor teor de óleo e boas características sensoriais foi a composta por soluções de 5% de pectina e 0,5% de cloreto de cálcio que reduziu o teor de óleo em 40%.

QUERIDO (2005) estudou o uso de coberturas de pectina (1, 2 e 3%) e alginato de sódio (1 e 2%) em maçãs como barreira à incorporação de óleo. A concentração de 2% das duas coberturas mostraram-se eficientes quando utilizadas como coberturas comestíveis imediatamente antes do processo de fritura, reduzindo 60% da incorporação de óleo pelo produto final.

A obtenção de *chips* de batata-doce de boa qualidade, com desenvolvimento controlado de sabor, aroma, cor e textura característicos, aliado à baixa incorporação de óleo e máxima perda de água, requer uma otimização dos parâmetros do processo de fritura, principalmente tempo e temperatura (TFOUNI et al., 2003). Altas temperaturas aceleram reações de escurecimento não enzimático, degradação de compostos de aroma e vitaminas. Assim, a redução do tempo de residência do produto no óleo de fritura, minimizando os efeitos da temperatura, pode ser conseguida pelo emprego de pré-tratamentos que diminuam o teor de umidade inicial ou reduzam a transferência de massa, como a desidratação osmótica e o uso de coberturas comestíveis antes da fritura (TOREZAN, 2005).

## 6. Referências bibliográficas

AGROPALMA: **Oleína de Palma PN 6 e Estearina de Palma**. Disponível em <<http://www.agropalma.com.br>>. Acesso em: 25 de setembro de 2008.

ALBERT, S.; MITTAL, G.S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. **Food Research International**. V.35, p.445-458, 2002.

ALLEN, L., NELSON, A I., STEINBERG, M. P., MCGILL, J. N. Edible corn-carbohydrate food coatings. I. Development and physical testing of a starch-algin coating. **Food Technology**, v.17, p.1437-1441, 1963a.

ALRUQAIE, I.M.; KASAPIS, S.; ABEYSEKERA, R. Structural properties of pectin-gelatin gels. Part II: Effect of sucrose/glucose syrup. **Carbohydrates Polymers**, v. 34, p. 309 - 321, 1997.

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y.B.; YUSOF, S.; RAHMAN, R.A. Effects of type of packaging material on physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried banana *chips*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.1621-1627, 2002.

ANDREOTTI, R.; MATALONI, G. **La preparazione industriale dei canditi**. Parma: Stazione Sperimentale per L'industria delle conserve alimentari in Parma. 90p. 1990.

ANTONIASSI, R. Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.19, n.2, p.353-380, 2001.

ASPINALL, G.O. Pectins, plants gums, and other plant polysaccharides. In: **The Carbohydrates Chemistry and Biochemistry**. PIGMAN, V.; HORTON, D. (ed.). New York: Academic Press. v.2b, p. 515, 1970.

ATHANASE, W. **Optimisation d' un procédé combiné de deshydratation osmotique couplé a une opération de séchage par friture. Application à la production de chips d' ananas**. 1998. 119p. Memorial apresentado para obtenção de diploma –Ecole Practique dès Hautes Etudes. Sciences de la Vie et de la Terre, Montpellier, França, 1998.

AXELOS, M. A. V.; THIBAUT, J. F. The chemistry of low methxyl pectin. In: WALTER, R. H. **The chemistry and technology of pectin**. New York: Academic Press. p.109-118, 1991.

BALDWIN, A.; NISPEROS, O.; HAGENMAIER, D.; BAKER, R.A. Use of lipids in coatings for food products. **Food Technology**, vol. 56, n. 6, p. 56-62, 1997.

BANKER, G. S. Film coating theory and practice. **Journal of Pharmaceutical Science**, v.55, n.1, p.81-89, 1966.

BATISTA, J.A. **Desenvolvimento, caracterização e aplicações de biofilmes a base de pectina, gelatina e ácidos graxos em bananas e sementes de brócolos**. 2004, 137p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

BLUMENTHAL, M.M. Una nueva perspectiva em la química y física de las frituras por inmersión. **Alimentaria**, v.28, n.9, p.65-70, 1991.

BLUMENTHAL, M.M. Frying technology. In: BAILEY, A.E. **Bailey's industrial oil & fat products**. New York: John Wiley, v.3, p.429-481, 1996.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do Processamento de Alimentos**. São Paulo: Varela, 3ª edição, 143p., 2001.

BODMEIER, R.; PAERATAKUL, O. Plasticizer uptake by aqueous colloidal polymer dispersions used for the coating of solid dosage forms. **International Journal of Pharmaceutics**, v.152, p.17-26, 1997.

BOHUON, P.; RAOULT-WACK, A. L. Procédé de deshydratation osmotique. In: Le MESTE, M.; SIMATOS, D.; LORIENT, D. **L'eau dans les aliments**. Paris: Lavoisier Tec et Doc, p. 405-428, 2002.

BOUCHON, P.; PYLE, D.L. Studying oil absorption in restructured potato chips. **Journal of Food Science**, v.69, n.3, p.(FEP) 115-122, 2004.

BRYCE, T. A., McKINNON, A. A., MORRIS, E. R., REES, D. A., THOM, D. Chain conformations in the sol-gel transitions for polysaccharide systems, and their characterization by spectroscopic methods. **Faraday Discussion Chemical Society**, v.57, p. 221-229, 1974

CARULO, M. F., **Desenvolvimento e Caracterização de Biofilmes Ativos Contendo Sorbato de Potássio, Feitos de Alginato de Cálcio e Ácidos Graxos**. 2005. 136p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

CELLA, R.C.F.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.111-116, 2002.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; FRANCO, C.M.L. Uso de amido e seus derivados na produção de salgadinhos extrusados (snacks). **Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. cap.6, v.3, p.132-142. Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, SP, 2003.

CHEN, H. Functional Properties and Applications of Edible Films Made of Milk Proteins. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.11, p.2563-2583, 1995.

CHENLO, F.; MOREIRA, R.; FERNÁNDEZ-HERRERO, C.; VÁZQUEZ, G. Experimental results and modeling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 324-334, 2006.

CHRONAKIS, I.S.; KASAPIS, S.; ABEYSEKERA, R. Structural Properties of Gelatin-Pectin Gels. The effect of Ethylene Glycol – **Food Hydrocolloids**, v.11, p. 271, 1997.

CLUBBS, E. A.; VITTADINI, E.; SHELLHAMMER, T. H.; VODOVOTZ, Y. Changes in the mechanical properties of corn tortillas due to the addition of glycerol and salt and selective high pressure treatments. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.6, p.304-309, 2005.

COELHO, A. D.; LEAL, A. B. ; RISTESKI, H. ; LEITE, J. B. ; MANCINI, M. C. . **Avaliação da produção de fatias de abóbora desidratada utilizando uma combinação das técnicas de desidratação osmótica e secagem convectiva**. In: XXX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 2002, São Carlos. Caderno de Resumo do XXX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. p. 152, 2002.

CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Edible film and coating as active layers, In: ROONEY, M.L.(Ed.). **Active Food Packaging**, London: Blackie Academic & Professional, p.111-142, 1995.

DALLA ROSA, M; GIROUX, F. Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 223-226, 2001.

DA SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Embrapa, Produção de Batata doce**. Disponível em: <[http://www.cnph.empraba.br/paginas/sistemas\\_produção/cultivo\\_batata\\_doce/introducao.htm](http://www.cnph.empraba.br/paginas/sistemas_produção/cultivo_batata_doce/introducao.htm)>. Acesso em 25 de abril de 2007.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J. A.; VOILLEY A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v.4, p.299-313, 1998.

DIAZ, A.; TOTTE, A.; GIROUX, F.; REYNES, M.; RAOULT-WACK, A.L. Deep-fat frying of plantain (*Musa paradisiaca* L.). I-Characterisation of control parameters. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.29, n.5-6, p.489-497, 1996.

DIAZ, A. TRYSTAM, G.; VITRAC, O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A.L. Kinetics of moisture loss and fat absorption during frying for different varieties of plantain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n.79, p.291-299, 1999.

DOBARGANES, M.C.; PEREZ-CAMINO, M.C.; Frying process: selection of fats and quality control. In: International Meeting of Fats & Oils Technology Symposium and Exhibition, Campinas, São Paulo, 1991.

DOBARGANES, M.C. Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils. **Récents progress en genie des procédés**. v.11, n.59, p.9-20, 1997.

DOBARGANES, M.C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; VELASCO, J. Interactions between fat and food during deep-frying. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v.102, p.521-528, 2000.

DONHOWE, I.G., FENNEMA, O. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.17, p. 247-257, 1993.

DZIEZAK, J.D. A focus on gums. **Food Technology**, v.45, p. 115- 132, 1991.

EL-AOUAR, A. A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya* L.)**. 2001. 113p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ERTEKIN, F.K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peãs. II. Influence os osmosis on drying behaviour and product quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, n.20, p.87-104, 1996.

ERTESVÁG, H., VALLA, S. Biosynthesis and applications of alginates, **Polymer Degradation and Stability**, v. 59, p. 85-91, 1998.

FAIRLEY, P.; MONAHAN, F.J.; GERMAN, J.B; KROCHTA, J.M. Mechanical properties and water vapor permeability of edible films from whey protein isolate and sodium dodecyl sulfate. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n.2, p. 438-443, 1996.

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

FRITSCH, C.W. measurements of frying fat deterioration: a brief review. **Journal of the American Oil Chemists´ Society**, v.58, n.3, p.272-274, 1981.

FRITZ, H. G. SEICENDSTUCKER, T., BOLZ. U.; JUZA, M.; SCHROETER, T; ENDRES, H. J. Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. **Science Research Development**, European Commision, EUR 16102, 1994.

GALLO, J.A.Q.; DEBEAUFORT, F.; CALLEGARIN, F.; VOILLEY, A. Lipidic hydrophobic, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based films. **Journal Membrane Science**, v.180, p.37- 46, 2000.

GAVA, A. J. **Princípios da tecnologia de alimentos**. Nobel, São Paulo. 284p. 1999.

GENINA-SOUTO, P.; BARRERA-CORTES, J.; GUTIERREZ-LOPEZ, G.; NIETO, E.A. Temperature and concentration effects of osmotic media on profiles of sweet potato cubes. **Drying Technology**, v.19, n.3-4, p.547-558, 2001.

GENNADIOS, A; BRANDENBURG, A; WELLER, C; TESTIN, R.F. Effect of pH of wheat gluten and soy protein isolate. **Food Chemistry**, v.41, p. 1835-1839, 1993.

GIANGIACOMO, R; TORREGGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.11, n. 9, p. 183-195, 1987.

GIESE, J. Fats, oil and fat replacers: Fats and oils play vital function and sensory roles in food products. **Food Technology**, Chiacago, v.50, n.4, p.78-83, 1996.

GODOY, A.M.T. **Produção de interesterificados de óleos de palma e palmiste para aplicação industrial**. 2001. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2001.

GONTARD, N. **Films et enrobages comestibles: étude et amélioration des propriétés filmogènes du gluten**. Montpellier, 1991. 174p. Thèse (Docteur en Biochimie, biologie cellulaire et moléculaire – Science des Aliments), Université Montpellier II. 1991.

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

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

GONTARD, N.; GUILBERT, S. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 29, n. 1-2, p. 10-17, 1995.

GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packing: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim da Sociedade Brasileira Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p. 3-15, 1996.

GRAILLE, J. Reactions chimiques induites par la friture. **Récents progress en genie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v.11, n.59, p.21-32, 1997.

GRIZOTTO, R.K. **Mandioca “Chips” uma tecnologia para aproveitamento a mandioca (Manihot esculenta Crantz)** 2000. 108p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GROSSO, C. R. F.; BOBBIO, P. A.; AIROLDI, C. Effect of sugar and sorbitol on the formation of low methoxyl pectin gels. *Carbohydrate Polymers*. Oxford. V.41, n.4, p.421-424, 2000.

GRUPO AGROPALMA. **A cultura do dendezeiro e o mercado de óleo de palma**. Grupo Agropalma Gerência de Responsabilidade Sócio-Ambiental, agosto, 2008.

GUILBERT, S. Technology and application of edible protective film. In: **Food Packaging and Preservation**, New York, Edr. M. Mathlouthi, Elsevier Applied Science Publishers, Ch 19, p.373-394, 1986.

GUILLAUMIN, R. Détermination des épèces chimiques nouvelles formées Durant le chauffage des huiles. **Rev. Franç. Corps Gras**, n.20, p.185-289, 1973.

HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Process Engineering**, v.2, n. 4, p.265 – 284, 1978.

HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of papaya: Influence on the product quality. **Science des Aliments**, v. 10, p. 831-848, 1990.

HWANG, J.; KOKINI, J.L. Contribution of the side branches to rheological properties of pectins. **Carbohydrate Polymers**. v. 19, p. 41–50, 1992.

HWANG, J.; PYUN, Y.R.; KOKINI, J.L. Sidechains of pectins: some thoughts on their role in plant cell walls and foods. **Food Hydrocolloids**. v. 7, p. 39–53, 1993.

IKOKO, J.; KURI, V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. **Food Chemistry**, v.102, p.523-531, 2007.

JACKMAN, R. L.; STANLEY, D. W. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. **Trends in Food Science & Technology**. v. 6, p. 187-194, 1995.

JUNQUEIRA, L. C. U.; CARNEIRO, J. **Biologia celular**. 2ªed. Rio de Janeiro - Editora Guanabara Koogan S. A. Cap 12: A célula vegetal : p. 238-249, 1997.

KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**. Chicago, v.40, n.4, p.47-59, 1986.

KHALIL, A.H. Quality of french fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. **Food Chemistry**, v.66, p.201-208, 1999.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 137-140, 2001.

KROCHTA, J; BALDWIN, E A; NISPEROS-CARRIEDO, M. **Edible coating and films to improve food quality**, 1ed. Lancaster, USA, Technomic Pub Co., 1994.

KROCHTA, J.M.; MULDER-JOHNSTON, C.: Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 2, p. 61-74, 1997.

KROKIDA, M.K.; OREOPOULOU, V.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Effect of pré-drying on quality of French fries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.347-354, 2001.

KUPRANYCS, D.B.; AMER, M.A.; BAKER, B.E. Effects of thermal oxidation on the constitution of butterfat, butterfat fractions and certain vegetable oils. **Journal American Oil Chemistry Societe**, 63 (3):332-337, 1986.

LABUZA T. P.; CONTRERAS M. R. Prediction of moisture protection requirements for foods. **Cereal Foods World**, v.26, n.7, p.335, 1981.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391 – 413, 1996.

LENART, A .; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmotic process. **Journal of Food Technology**, v. 19, p. 45-63, 1984.

LENG, M.S.; NDJOUENKEU, R.; ETOA, F.X.; RAOULT-WACK, A.L. Influence de quelques conditions de pretraitement sur la cinetique de friture des *chips* de patata douce. **Récents progress en genie des procédés: La friture- Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v.11, n.59, p.131-138, 1997.

LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal Food Science**, v.50, p.1217-26, 1985.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 107-109, 2004.

LIN, S. Y., CHEN, K.S., RUN-CHU, L. Organic esters of plasticizers affecting the water absorption adhesive property, glass transition temperature and plasticizer permanence of Eudragit acrylic films. **Journal of Controlled Release**, v.68, p. 343-350, 2000.

LIST, G.R. Decreasing *trans* and saturated fatty acid content in food oils. **Food Technology**. Chiacago, v.35, p.1015-1048, 2004.

LITTLECOTT, G.W. Food Gels –the role of alginates. **Food Technology Australia**. v.34, p.412-418, 1982.

LOLOS, M.; OREOPOULOU, V.; TZIA, C. Oxidative stability of potato chips: effect of frying oil type, temperature and oxidants. **Journal od Science of Food and Agriculture**, [S.1.], v.79, p.1524-1528, 1999.

LOMBARD, G. E.; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v.85, p. 277-284, 2008.

LUSAS, E.W.; ROONEY, L.W. **Snack Foods Processing**. CRC Press, London, New York, 2001.

- McHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M. Milk-protein-based edible films and coating. **Food Technology**, v. 51. p. 98-103, 1997.
- MACLEOD, G. S.; FELL, J. T.; COLLETT, J. H. Studies on the physical properties of mixed pectin/ethylcellulose films intended for colonic drug delivery. **International Journal of Pharmaceutics**. Amsterdam, v.157, p.53-60, 1997.
- MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.30, p. 709-714, 1997.
- MASTRANGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, n. 6, p. 769-776, 2000.
- MAY, C. D. Pectins. In: IMENSON, A. Thickening and gelling agents for food. cap. 11. 2 ed. **London: Blackie Academic & Professional**. p.230-260. 1997.
- MESQUITA, A. S. Inhame e taro: cenários dos mercados internacional, brasileiro e baiano. **Bahia Agrícola**, v.5, n.2, 2002.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Superintendência da Zona Franca de Manaus. SUFRAMA. In: Potencialidades regionais e estudo de viabilidade econômica: Dendê, 2003. Disponível em: <[http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj\\_pot\\_regionais/sumario/dende.pdf](http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/sumario/dende.pdf)> Acesso em: outubro 2008.
- MONTERREY-QUINTERO, E. S. **Caracterização físico-química de proteínas miofibrilares e elaboração de biofilmes**. 1998. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, Pirassununga, 1998.
- MOREIRA, R.G.; CASTELL-PEREZ, M.E.; BARRUFET, M.A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 350p.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; VÁZQUEZ, G. Effect os stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie** , v. 40, n. 9, p. 1507-1514, 2007.
- MOREIRA, R.; SERENO, A.M. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solution in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v.57, p. 25-31, 2003.
- MOREIRA, R.G.; SUN, X.; CHEN, Y. Factors affecting oil uptake in tortilha chips in deep-fat frying. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.485-498, 1997.
- MORITA, A. S.; GOIS, V. A.; PRAÇA, E. F.; TAVARES, J. C.; ANDRADE, J. C. de; COSTA, F. B. da; JÚNIOR, A. P. B.; SOUSA, A. H. Cristalização de melão pelo processo lento de açucaramento. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 705-708, 2005.

MOYANO, P.C.; BERNA, A.Z. Modelling water loss during frying of potato strips: effect of solute impregnation. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1303-1318, 2002.

OIL WORLD ANNUAL; OIL WORD WEEKLY. 2007. IN: World production of 17 oils & fats: 1998-2007; World major producers of palm oil: 1998/2007. . Disponível em: <<http://www.mpob.gov.my>> Acesso em: outubro 2008.

ONSOYEN, S. Alginates. In: IMENSON, A. **Thickening and gelling agentes for food**. 2ed. Lodon: Blackie Academic & Profissional, p. 22-44. 1997.

PANAGIOTOU, N. M.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, v. 17, n. 1 e 2, 1999.

PARK, H. J., WELLER, C.L., VERGANO, P.J., TESTIN, R.F. Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. **Journal of Food Science**, v.58, p. 1361-1370, 1993.

PAUL, S.; MITTAL, G.S. regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v.37, n.7, p.635-662, 1997.

PEREZ-GAGO, M. B.; KROCHTA, J. M. Desnaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. **Journal of Food Science**. Chicago, 66, n.5, p.705-710, 2001.

PINHEIRO, A. C. M.; VILAS BOAS, E. V. de B. Influência do CaCl<sub>2</sub> sobre a qualidade pós-colheita do abacaxi cv. Pérola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n.1, p. 32-36, 2005.

PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, Chicago, Illinois, US, v. 20, n. 10, p. 125-128, 1966.

POZO-DÍEZ, R.M. **Estudio del proceso de fritura de alimentos frescos y congelados prefritos**: comportamiento del aceite de semilla de girasol de alto contenido em acido oléico. 1995. 338f. Tese (Doutorado em Farmácia) - Facultad de Farmácia, Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, 1995.

QIU, L.; BENDING, R. A.. Characteristics of protectant synthesis of infective juveniles of *Steinernema carpocapsae* and importance of glycerol as a protectant for survival of the nematodes during osmotic dehydration. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B**, v. 131, p. 757-765, 2002.

QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P., A.; MOLINA, M. A. B. de; GRAVINA, G. A., QUEIROZ, L. R.; DELIZA, R. Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 10, p. 1479-1486, 2007.

QUERIDO, A. F. **Estudo da influência de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 193 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RAOULT-WACK, A.L.; LENART, A. GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p. 48-59, 2002.

RINAUDO, M. Relation between the molecular structure of some polysaccharides and original properties in sol and gel states. **Food Hydrocolloids**. Oxford, v.15, n.4-6, p.433-440, 2001.

ROLIN, C.; de VRIES, S. J. Pectin. In: HARRIS, P. **Food Gels**. Elsevier Applied Science. Ch 10, p.401-434, 1990.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; DALLA ROSA M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability – study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 163-173, 2001.

SAGUY, S.; UFHEIL, G.; LIVINGS, S. Oil uptake in deep fat frying: review. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier “Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits”**, v.5, n.1, p.30-34, 1998.

SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D.; COMESAÑA, J.F.; CORREA, A. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, 103–114, 2001.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamento sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p. 536-545, 2005.

SHIH, F.F. Edible Films from rice protein concentrate and pullulan. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.73, n.3, p.406-409, 1996.

SHYU, S.L.; HWANG, L.S. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. **Food Research International**, v.34, p.133-142, 2001.

SING, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introducción a la ingeniería de los alimentos**. Acribia, Zaragoza. 554p., 1998.

SMIDSROD, O. Molecular basis for some physical properties of alginates in the gel state. **Faraday Discussion Chemical Society**, v.57, p.263-274, 1974.

SMITH, L.M.; CLIFFORD, A.J.; CREVELING, R.; HAMBLIN, C.L. Lipidic content and fatty acid profiles of various deep-fat fried foods. **Journal American Oil Chemistry Society**, s.1, v.62, p.996-999, 1985.

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

SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J. M. Plasticizer effect on oxygen permeability of  $\beta$  lactoglobulina films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.48, n.12, p.:6298-6302, 2000.

SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A.; FILHO, M. S. S.; FIGUEIREDO, R. W.; NASSU, R. T.; NETO, M. A. S. Influência da concentração e de proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 126-130, 2003.

SUUTARINEN, J.; HEISKA, K.; MOSS, P.; AUTIO, K. The effects of calcium chloride and sucrose prefreezing treatments on the structure of strawberry tissues. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 33, p.89-102, 2000.

TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P.; CHIRALT, A. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwifruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Ottawa, v. 3, p. 191-199, 2001.

TFOUNI, S.A.V.; MACHADO, R.M.D.; GARCIA, L.C.; AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. Batata chips e palha. **Agronegócio 3**. Campinas: ITAL, 73p. 2003.

THAKUR, B. R.; SINGH, R. K.; HANDA, A. K. Chemistry and uses of pectin – a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.37, n.1, p.47-73, 1997.

TONON, R.V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. 2005. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TOREZAN, G. A. P. **Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga**. 2005. 291p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TORREGGIANI, D. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 247-253, 2001.

TORRINGA, H. M.; ERLE, U.; BARTELS, P. V.; SCHUBERT, H. Micro-wave-vacuum drying of osmotically pre-treated fruits. In: DRYING '98 – PROCEEDINGS OF THE 11<sup>TH</sup> INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS '98). 1998, Halkidiki, Greece, August 19-22, v. A, p. 922-929.

VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v. 11, p. 63-84, 1991.

VILPOUX, O. Processamento de raízes e tubérculos tropicais para produção de *chips*. **Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. cap.5, v.3, p.110-131. Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, SP, 2003.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A.L. Produits frits a base de manioc en olombie: aptitude clonale et relation procédé/qualité. **Récents Progrès em Génie des Procédés**. v.11, n.59, p.113-120, 1997.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A.L. Characterisation of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. **Journal of Food Engineering**, v.53, p.161-176, 2002.

VITRAC, O.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A.L. Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. **European Journal of Lipid Technology**, v.102, p.529-538, 2000.

WHISTLER, R.L.; BEMILLER, J.N.; PASCHALL, E.F. **Starch chemistry and technology**. San Diego: Academic Pres. 718p. 1984.

WHISTLER, R.L.; BEMILLER, J.N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. San Diego: Academic Press. 214p. 1997.

WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Low-fat fried foods with edible coatings: modeling and simulation. **Journal of Food Science**, v.64, p.317-322, 1999.

XIONG, Y.L. Myofibrillar protein from different muscle fiber types: implications of biochemical and functional properties in meat processing. **CRC Critical Review in Food Science and Nutrition**, v.34, n.3, p.293-320, 1994.

ZACTITI, E. M. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis de alginato de cálcio sem e com sorbato de potássio**. 2004. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.



**CAPÍTULO 2 - SENSORY ACCEPTANCE OF SWEET POTATO  
(*IPOMOEA BATATAS*) AND YAM (*DIOSCOREA SPP*)  
CHIPS FRIED IN PALM OLEIN AND STEARIN**

---

FONTES, L.C.B.; TEIXEIRA, A.M.; RAMOS, K.K.; SIVI, T.C.; QUEIROZ, F.P.C.  
**Aceitação sensorial de *chips* de batata-doce (*Ipomoea batatas*) e inhame (*Dioscorea spp.*) fritos em oleína e estearina de palma.** XII Congresso Latino-Americano de Óleos e Gorduras realizado de 12 a 14 de novembro de 2007, Florianópolis, Santa Catarina. (Resumo Expandido, Pôster e Apresentação Oral)



## CAPITULO 2

### **SENSORY ACCEPTANCE OF SWEET POTATO (*IPOMOEA BATATAS*) AND YAM (*DIOSCOREA SPP*) CHIPS FRIED IN PALM OLEIN AND STEARIN**

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Ângela Moraes TEIXEIRA; Kazumi Kawasaki RAMOS; Thaís Cristina SIVI; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### **SUMMARY**

The objective of this research was evaluate the sensory acceptance and buying intention of the sweet potato and yam *chips* fried in palm olein and stearin, and their relationship with the oil incorporated into the products. The yam *chips* fried in palm olein incorporated the greatest amount of oil (35.61%), followed by the yam *chips* fried in palm stearin (31.75%). The *chips* presenting the least oil incorporation were those of sweet potato fried in palm stearin (23.70%) and palm olein (22.62%). In the sensory evaluation for the attributes of aroma, flavor and buying intention, the yam *chips* fried in palm olein showed higher scores ( $p < 0,05$ ) than the other treatments. For the attributes of overall appearance and texture there were no significant differences between the sweet potato *chips* fried in palm olein and stearin and the yam *chips* fried in palm olein. The *chips* showing the greatest sensory acceptance by the consumers (yam *chips* fried in palm olein) were those showing the greatest oil incorporation, providing evidence that the frying process develops characteristics of odor, flavor, color and texture that make these foods more attractive for consumption.

**Keywords:** *chips*, sweet potato, yam, acceptability.



## 1. Introduction

The chips and snacks market has been growing recently since they are convenience foods and some people, due to a lack of time, substitute their main meals with such products. The majority of these products are potato chips (VILPOUX, 2003) or chips of other starch-rich raw materials such as banana (AMMAWATH et al., 2002), sweet potato (LENG et al., 1997) and cassava (GRIZOTTO, 2000). In parallel, numerous less known roots and tubers exist that show a great potential for the production of chips, amongst which the yam (*Dioscorea sp.*), taro (*Colocasia esculenta*) and arracacha (*Arracachia xanthorrhiza*) stand out.

Brazil has the greatest production of sweet potato on the Latin American continent (539 thousand tons), and the greatest regional producers are the south and the northeast (DA SILVA, 2007). The production of yam is about 230 thousand tons and is concentrated in the northeast, the State of Paraíba standing out as the main producer. Expressive amounts of minerals, carbohydrates and vitamins A, B, C and D are found in yam tissue (MESQUITA, 2002).

Fried foods present highly agreeable sensory characteristics, such as odor, flavor, color and texture, since the oil is introduced into the food occupying part of the space left by the water. In frying the oil performs a double function: (i) acts as a heat transmission medium and (ii) constitutes a new ingredient of the fried product on being absorbed into it (CELLA et al., 2002). Oil absorption by the foods varies between 10 and 60% and can be influenced by a series of parameters, which act on the velocities of mass and energy transfer between the oil and the food and are dependent on the food itself, the oil and the frying conditions (SMITH et al, 1985).

Palm olein and stearin, obtained by the natural fractionation of refined palm oil, have been used in industrial frying processes due to their excellent stability resulting from a predominance of saturated fatty acids. The refined palm olein PN 6 has a melting point of about 17°C and contains saturated fatty acids such as

palmitic (16:0) and stearic (18:0) acids at about 37% and 4%, respectively, and about 46% of the monounsaturated fatty acid, oleic acid (18:1n-9). Palm stearin presents a higher melting point (52°C) and greater concentrations of saturated fatty acids, with 54% palmitic acid and 6% stearic acid, although with a lower oleic acid content of 32%. Palmitic acid, although saturated, is less hypercholesterolemic than the 12 and 14 carbon chain saturated fatty acids. Since this oil is not submitted to an artificial hydrogenation process, it is free of *trans* fatty acids (AGROPALMA, 2007).

The objective of this research was to carry out a sensory evaluation of the acceptance and buying intent of the sweet potato and yam chips fried in palm olein and stearin, and their relationship with the amount of oil incorporated into the products.

## 2. Material and methods

### 2.1 Raw materials

The sweet potato (*Ipomoea batatas*) and yam (*Dioscorea spp*) (Figure 2.1), were acquired from CEASA (Supply Center) in Campinas, Brazil. The palm olein and stearin used in the frying process were supplied by the Agropalma group.



(a)



(b)

**Figure 2.1.** (a) Aspect of sweet potato (*Ipomoea batatas*) roots and (b) yam (*Dioscorea spp*) roots.

## 2.2 Preparation of chips

The vegetables were washed under running water to remove the majority of the dirt coming from the field, and sanitized in a 0.2% sodium hypochlorite solution (CHEMCO, Campinas/SP, Brazil) for 10 minutes. The tubers were then peeled with a stainless steel manual peeler and kept immersed in water until the moment of processing. The tubers were cut into 1 mm slices using an EL. Inox food processor (brand SKYMSEN, model PAIE, Brusque/SC, Brazil).

The vegetable slices were fried in an electric fryer (brand CROYDON, model F-2A, Duque de Caxias/RJ, Brazil), using palm olein and stearin at 170°C. Three liters of palm olein or stearin were used in each frying vat of approximately 10 vegetable slices per operation. The frying time, evaluated in preliminary studies, varied from 1 minute for sweet potato to 1 minute and 35 seconds for yam slices. After frying, the slices were drained on absorbent paper and added of 1.5% salt of the sensory evaluation.

## 2.3 Physical and chemical analyses

The proximate composition of the *in natura* vegetables were evaluated in triplicate using the AACC method nº 44-40 (AACC, 1995) for moisture; the Kjeldahl method, AACC nº 46-1 (AACC, 1995) for protein; the AACC method nº 08-01 (AACC, 1995) for ash; the Soxhlet method, AACC nº 02-01 (AACC, 1995) for total lipids; crude fiber according to the (NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985) and carbohydrates by difference. Oil incorporation into the *chips* was evaluated by the Soxhlet method (method nº 02-01, AACC, 1995).

## 2.4 Sensory evaluation

The sensory evaluation of the sweet potato and yam chips was carried out by 60 untrained consumers in the age range from 20 to 40 years old. The WAKELING

design (MacFIE, 1995) was used to determine the number of consumers the presentation order of the samples. The following attributes were analyzed: overall appearance, aroma, flavor and texture, using a 9 point structured hedonic scale where 1= disliked immensely and 9= liked immensely (STONE; SIDEL, 1993). Buying intention was evaluated using a 5 point structured scale, where 1= certainly would not buy and 5= certainly would buy. The *Statistical Analysis System* (SAS) program was used for the analysis of variance by the F test, and for the means comparison by the *Tukey* Test (5%).

### 3. Results & discussion

#### 3.1 Physical and chemical analyses

Table 2.1 shows the results for the proximate composition of the sweet potato and yam.

**Table 2.1** Proximate composition of the in nature sweet potato and yam.

Determinations	Sweet potato	Yam
Moisture %	66.14 ± 0.61	80.39 ± 0.27
Protein % (d.w.b.)	6.57 ± 0.14	8.69 ± 0.11
Ash % (d.w.b.)	2.89 ± 0.18	4.44 ± 0.26
Total Lipids % (d.w.b.)	0.52 ± 0.11	0.16 ± 0.04
Fibers % (d.w.b.)	3.07 ± 0.20	1.84 ± 0.32
Carbohydrates % (d.w.b.)	23.88	6.32

(d.w.b.) = dry weight basis.

The values found for the moisture, lipid, fiber and carbohydrate contents are within the ranges found by SOARES et al. (2002) for the proximate composition of

sweet potato, although the values found by these authors for protein and ash were lower (protein content between 2 and 2.9 % and ash content between 0.6 and 1.7%) than the values found in the present study. The values found for yam differed from those reported by LEONEL; CEREDA (2002). However, according to OLIVEIRA et al. (2002), the differences found for some of the properties analyzed in the proximate composition of *in natura* sweet potato and yam are due to differences in variety, soil type (cultivation locality), addition of fertilizers, cultivation time and harvesting time.

The greatest value for oil incorporation (35.61%) was presented by the yam chips fried in palm olein, followed by the yam chips fried in palm stearin (31.75%). The greater oil incorporation by the yam chips was due to the greater moisture content of the initial raw material (80.39%) and longer frying time (1 min and 35 s). JORGE and LUNARDI (2005) observed that potatoes fried in soybean oil presented a greater moisture content and decreased oil absorption during the process, demonstrating that the oil is only introduced into the product when a space exists left by the water freed during the process. A study on the determination of the lipid content in potatoes during intermittent frying, after various frying times and different temperatures, showed that oil absorption by the potatoes increased with frying time at all the temperatures (SAHIN et al., 2000).

The chips showing the lowest oil incorporation were the sweet potato chips fried in palm stearin (23.70%) and palm olein (22.62%). The greater oil incorporation with palm stearin could be explained by the greater degree of saturation, as also shown by PINTO et al. (2003) who fried potatoes in three different types of oil with different levels of unsaturation (sunflower oil, corn oil and hydrogenated vegetable fat), and observed that the more saturated the oil, the greater the oil incorporation into the potato tissue.

### 3.2 Sensory evaluation

As shown in Table 2.2, the yam chips fried in palm olein (CIOP) presented statistically higher scores than the other treatments for the attributes of aroma, flavor and buying intention. Of all the parameters evaluated, the highest score was obtained for flavor (7.06), showing that the consumers liked the product moderately, probably due to the greater oil incorporation by the yam chips, increasing their palatability.

**Table 2.2** Means of the scores awarded by the consumers to the sweet potato and yam chips fried in palm olein and stearin.

Attributes	CBDOP	CBDEP	CIOP	CIEP
Overall appearance	5.65 <sup>a</sup>	6.11 <sup>a</sup>	6.18 <sup>a</sup>	4.43 <sup>b</sup>
Aroma	5.70 <sup>b</sup>	5.56 <sup>b</sup>	6.95 <sup>a</sup>	6.11 <sup>b</sup>
Flavor	5.85 <sup>b</sup>	5.88 <sup>b</sup>	7.06 <sup>a</sup>	4.10 <sup>c</sup>
Texture	5.66 <sup>ab</sup>	5.16 <sup>b</sup>	6.43 <sup>a</sup>	2.33 <sup>c</sup>
Buying intention	2.97 <sup>b</sup>	2.78 <sup>b</sup>	3.60 <sup>a</sup>	1.48 <sup>c</sup>

Means followed by the same letter in the same post do not differ from each other according to the *Tukey* test at 5% probability. CBDOP = sweet potato chips fried in palm olein. CBDEP = sweet potato chips fried in palm stearin. CIOP = yam chips fried in palm olein. CIEP = yam chips fried in palm stearin.

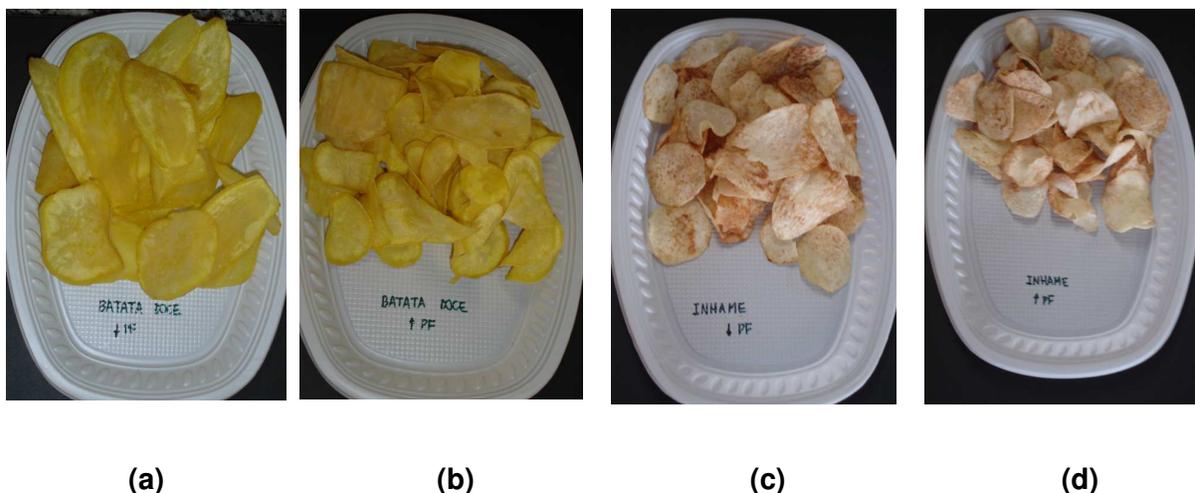
For the attributes of overall appearance, aroma, flavor and texture there were no significant differences between the sweet potato chips fried in palm stearin and palm olein. But, for the same attributes were significant difference between the yam chips fried in palm stearin and palm olein and the yam chips fried in palm olein had the highest scores.

For buying intention, the yam chips fried in palm olein presented statistically higher scores than the other treatments (3.60), that is, the consumers would probably buy the product as a function of the higher scores for aroma and flavor. For the sweet potato chips fried in both palm olein and palm stearin, the consumers might or might not buy the chips, and the consumers definitely would not buy the yam chips fried in palm stearin, probably justified by the fact that they disliked the texture of the product a lot.

### **3.2.1 Visual appearance of the processed chips submitted to a sensory evaluation**

Figure 2.2 shows the visual appearance of the chips in the following sequence: sweet potato chips fried in palm olein and palm stearin, and yam chips fried in palm olein and palm stearin.

The vegetables fried in palm olein presented a good appearance (Figure 2.2, items a and c). The sweet potato and yam chips fried in palm stearin (items b and d) presented a more whitish coloration, probably caused by the higher melting point of the palm stearin, which, after the frying process, formed a fat layer on the surface of the product and possibly affected acceptance of the product by the consumers.



**Figure 2.2** Visual appearance of the processed *chips* submitted to a sensory evaluation. (a) sweet potato *chips* fried in palm olein; (b) sweet potato *chips* fried in palm stearin; (c) yam *chips* fried in palm olein and (d) yam *chips* fried in palm stearin.

#### 4. Conclusion

The yam chips fried in palm olein presented the greatest buying intention and sensory acceptance (aroma and flavor), possibly due to the greater oil incorporation, which conferred greater palatability.

#### 5. References

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed., Saint Paul: AACC, 1995.

AGROPALMA: Oleína de Palma PN 6 e Estearina de Palma. Disponível: <http://www.agropalma.com.br>. Acesso em: 25 de abril de 2007.

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y.B.; YUSOF, S.; RAHMAN, R.A. Effects of type of packaging material on physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried banana *chips*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.1621-1627, 2002.

CELLA, R.C.F.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.2, p.111-116, 2002.

DA SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Embrapa, Produção de Batata doce. Disponível: [http://www.cnph.empraba.br/paginas/sistemas\\_producao/cultivo\\_batata\\_doce/introducao.htm](http://www.cnph.empraba.br/paginas/sistemas_producao/cultivo_batata_doce/introducao.htm). Acesso em: 25 abril de 2007.

GRIZOTTO, R.K. **Mandioca “Chips” uma tecnologia para aproveitamento a mandioca (Manihot esculenta Crantz)**. 2000. 108p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

JORGE, N; LUNARDI, V.M. Influência dos tipos de óleos e tempos de fritura na perda de umidade e absorção de óleo em batatas fritas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.29, n.3, p.635-641, 2005.

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

LENG, M.S.; NDJOUENKEU, R.; ETOA, F.X.; RAOULT-WACK, A.L. Influence de quelques conditions de pretraitement sur la cinétique de friture des *chips* de patata douce. Récents progress en genie des procédés: La friture- **Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v.11, n.59, p.131-138, 1997.

MESQUITA, A. S. Inhamé e taro: cenários dos mercados internacional, brasileiro e baiano. **Bahia Agrícola**, v.5, n.2, 2002.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. v.1, 533p., 1985.

OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SEDIYAMA, T.; FINGER, F. L.; CRUZ, C. D. Variabilidade genética em batata-doce com base em marcadores isoenzimáticos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 576-582, 2002.

PINTO, E.P.; BORGES, C.D.; TEIXEIRA, A.M.; ZAMBIAZI, R.C. Características da batata frita em óleos com diferentes graus de insaturação. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.21, n.2, 2003.

SAHIN, S.; SUDHIR, K.S.; LEVENT, B. Combined effects of frying parameters and oil content on moisture levels in french fries. **Journal Food Science and Technology**, Trivandrum, v.37, n.5, p.557-560, 2000.

SMITH, L.M.; CLIFFORD, A.J.; CREVELING, R.; HAMBLIN, C.L. Lipidic content and fatty acid profiles of various deep-fat fried foods. **Journal American Oil Chemistry Society**, s.1, v.62, p.996-999, 1985.

SOARES, K. T.; MELO, A. S. ; MATIAS, E. C. **A cultura da batata doce (Ipomoea batatas (L.) Lam.)**. EMEPA-PB (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S. A.). João Pessoa: Documento 41, 2002, 26p.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory Evaluation Practices**, 2 ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1993, 311p.

VILPOUX, O. Processamento de raízes e tubérculos tropicais para produção de *chips*. Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. cap.5, v.3, p.110-131. **Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. Fundação Cargill, SP, 2003.

WAKELING, I. N., MACFIE, H. J. Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of K samples from t may be tested. **Food Quality and Preference**, 6: 299-308, 1995.

## **6. Acknowledgements**

The authors are grateful to Agropalma for donating the palm olein and stearin, to CAPES for conceding a doctoral scholarship, and to FAPESP for the financial aid awarded to this research project.

### CAPÍTULO 3 – ACEITAÇÃO SENSORIAL DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA

---

FONTES, L.C.B.; RAMOS, K.K.; SIVI, T.C.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. **Aceitação sensorial de *chips* de batata-doce biofortificada.** 7<sup>o</sup> Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos – Ciência e Tecnologia de Alimentos em Benefício à Sociedade: Ligando a Agricultura à Saúde realizado de 04 a 07 de novembro de 2007, Campinas, São Paulo (Resumo e Pôster).



## CAPITULO 3

### ACEITAÇÃO SENSORIAL DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Kazumi Kawasaki RAMOS; Thaís Cristina SIVI;  
Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### Resumo

O teste de aceitação sensorial é uma das etapas mais importantes no processo de desenvolvimento ou melhoramento de novos produtos. O objetivo deste trabalho foi avaliar sensorialmente a aceitação e a intenção de compra de *chips* de batata-doce biofortificada elaborados por fritura por imersão em oleína de palma. Foram avaliados dois cultivares fornecidos pela Embrapa: (i) 1081-baixo teor de betacaroteno e (ii) 1122- médio teor de betacaroteno. Os tubérculos foram imersos em solução de hipoclorito de sódio (0,2%) durante 10 minutos e fatiados na espessura de 1 mm. As fatias foram fritas em oleína de palma a 170°C durante 1 minuto. Após a fritura, as fatias foram drenadas em papel absorvente e adicionado 1,5% de sal nos *chips* destinados à avaliação sensorial. Os atributos analisados foram: aparência global, aroma, sabor e textura, utilizando-se escala hedônica estruturada variando de inferior 1 (desgostei extremamente) a 9 (gostei extremamente); para a avaliação da intenção de compra foi utilizada escala de 5 pontos com extremidade inferior 1 (certamente não compraria) e superior 5 (certamente compraria). O cultivar 1081 apresentou maior aceitação para o sabor ( $p < 0,05$ ) em comparação ao outro cultivar, no entanto, para os demais atributos de aparência global, aroma, textura e intenção de compra, não ocorreram diferenças significativas entre os cultivares. As notas atribuídas aos atributos avaliados, exceto intenção de compra, variaram de 5,80 a 7,46. Para a intenção de compra,

63% dos provadores atribuíram notas 4 e 5 (possivelmente compraria e certamente compraria).

**Palavras-chave:** *chips*, batata-doce biofortificada, aceitação sensorial.

## 1. Introdução

A aceitação pelo consumidor de novos produtos é parte crucial no processo de desenvolvimento, inovação e estratégia de marketing. Para o consumidor, um produto que possua excelentes características químicas, físicas ou microbiológicas, que seja considerado de excelente qualidade na visão da indústria, de nada adianta, se as características sensoriais desse produto não preencherem as necessidades e os anseios de quem o consumirá (MINIM, 2006).

Através da análise sensorial, as características ou propriedades de interesse relativas à qualidade sensorial do alimento, além de sua aceitação pelo consumidor, são identificadas e adequadamente estudadas com base em metodologias sensoriais de coleta de dados e através de métodos estatísticos de avaliação e interpretação dos resultados (MINIM, 2006).

A batata-doce biofortificada é um cultivar de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A polpa da batata-doce biofortificada é alaranjada e rica em vitamina A. Esta vitamina é um nutriente essencial, importante no crescimento, desenvolvimento e na manutenção da integridade epitelial, função imune e reprodução (FAO, 2001). A deficiência de vitamina A está associada com um aumento acentuado da mortalidade, principalmente por doenças infecciosas, e a deficiência grave pode levar a problemas de visão que chegam até a cegueira total (BATES, 1995).

Uma alternativa para suprir a necessidade de vitamina A, proporcionando uma minimização da mortalidade infantil em países em desenvolvimento e nutrindo mulheres grávidas ou em período de amamentação, seria a produção de alimentos de fácil consumo como *chips* de batata-doce biofortificada, cujo o processo de fritura, adicionalmente confere ao produto maior palatabilidade tornando-o mais aceitável e atrativo ao consumidor.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a aceitação e a intenção de compra de *chips* de batata doce biofortificada elaborados pelo processo de fritura por imersão em oleína de palma.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Matérias primas

Os cultivares de batata-doce biofortificadas foram cedidos pela EMBRAPA HORTALIÇAS – Brasília/DF. Na Figura 3.1, pode ser observado (a) o cultivar 1081 (baixo teor de betacaroteno); (b) o cultivar 1122 (médio teor de betacaroteno) e (c) a representação da polpa alaranjada do cultivar 1122 antes do processo de fritura.



(a)



(b)



(c)

**Figura 3.1** Cultivares de batata-doce biofortificada: (a) Cultivar 1081; (b) Cultivar 1122 e (c) Polpa alaranjada do cultivar 1122.

A oleína de palma utilizada foi doada pelo grupo Agropalma e o hipoclorito de sódio foi da marca comercial CHEMCO.

## **2.2 Preparo dos chips**

As amostras de batata-doce foram lavadas em água corrente para retirada de sujidades grosseiras oriundas do campo e higienizadas em solução de hipoclorito de sódio (CHEMCO) na concentração de 0,2% durante 10 minutos. Posteriormente, os tubérculos foram descascados com auxílio de descascador manual de aço inoxidável e mantidos imersos em água filtrada até o momento do processamento. A seguir, foi iniciado o fatiamento, na espessura de 1 mm, em Processador de Alimentos EL. Inox (marca SKYMSEN, modelo PAIE, Brasil).

As fatias dos vegetais foram fritas em fritadeira elétrica (marca CROYDON, modelo F-2A, Brasil), utilizando-se oleína de palma a 170°C. Foram utilizados 3 litros de oleína de palma em cada tacho de fritura e aproximadamente 10 fatias do vegetal por operação. O tempo de fritura, avaliado em ensaios preliminares, foi igual a 1 minuto. Após a fritura, as fatias foram drenadas em papel absorvente. Foi adicionado 1,5% de sal nos chips destinados à avaliação sensorial.

## **2.3 Análises físicas e químicas da matéria-prima**

Os vegetais *in natura* foram avaliados separadamente, em triplicata, quanto ao teor de umidade de acordo com o método nº 44-40 (AACC, 1995); proteína pelo método de Kjeldahl nº 46-11 (AACC, 1995); cinzas, de acordo com o método nº 08-01 (AACC, 1995); lipídios, segundo método Soxhlet 02-01 (AACC, 1995); fibra bruta (NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985) e carboidratos por diferença (incluindo as fibras).

## **2.4 Análise sensorial**

O teste sensorial dos *chips* de cultivares de batata-doce biofortificada foi realizado por 30 provadores não treinados, na faixa etária de 20 a 40 anos. Os atributos analisados foram: aparência global, aroma, sabor e textura, utilizando-se

escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (desgostei extremamente) e superior 9 (gostei extremamente) (STONE; SIDEL, 1993). Para a avaliação da intenção de compra foi utilizada escala de 5 pontos com extremidade inferior 1 (certamente não compraria) e superior 5 (certamente compraria). O programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) foi utilizado na análise de variância pelo Teste F, comparação de médias pelo Teste de *Tukey* (5%).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Análises físicas e químicas

Os resultados da composição centesimal dos cultivares de batata-doce biofortificadas estão apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** Composição centesimal dos cultivares de batata-doce biofortificadas.

Determinações	Cultivar 1081	Cultivar 1122
Umidade %	65,15 ± 0,32	64,27 ± 0,27
Proteína % (b.s.)	4,09 ± 0,07	5,74 ± 0,38
Cinzas % (b.s.)	2,38 ± 0,22	3,06 ± 0,21
Lipídios % (b.s.)	0,72 ± 0,13	0,60 ± 0,02
Fibras % (b.s.)	3,58 ± 0,45	3,61 ± 0,72
Carboidratos % (b.s.)	27,66	26,43

(b.s.) = base seca.

Os valores encontrados para composição centesimal das batatas-doces biofortificadas estão dentro da faixa encontrada para composição centesimal de batata-doce em SOARES et al. (2002), no entanto, os valores de proteínas e

cinzas avaliados pelo mesmo autor são menores (o teor de proteínas entre 2 e 2,9 % e o de cinzas entre 0,6 e 1,7%) que os encontrados neste trabalho.

Comparando a composição centesimal da batata-doce biofortificada com a batata-doce Monalisa amarela apresentado por (FONTES et al., 2007), observa-se que os valores são muito semelhantes, diferindo apenas no teor de proteína que é inferior (6,57%) e de carboidratos que é superior (23,88%). Estas diferenças obtidas em alguns componentes analisados de batata-doce são decorrentes da variedade, tipo de solo (localidade do cultivo), adubação, tempo de cultivo e época de colheita (OLIVEIRA et al., 2002).

### 3.2 Análise sensorial

Dentre os atributos avaliados, somente o sabor apresentou diferença significativa (). A maior nota foi para o sabor (7,46) do cultivar 1081, em que os provadores gostaram moderadamente do sabor dos *chips* de batata-doce biofortificada. Para os demais atributos de aparência global, aroma, textura e intenção de compra, não ocorreram diferenças significativas entre os cultivares.

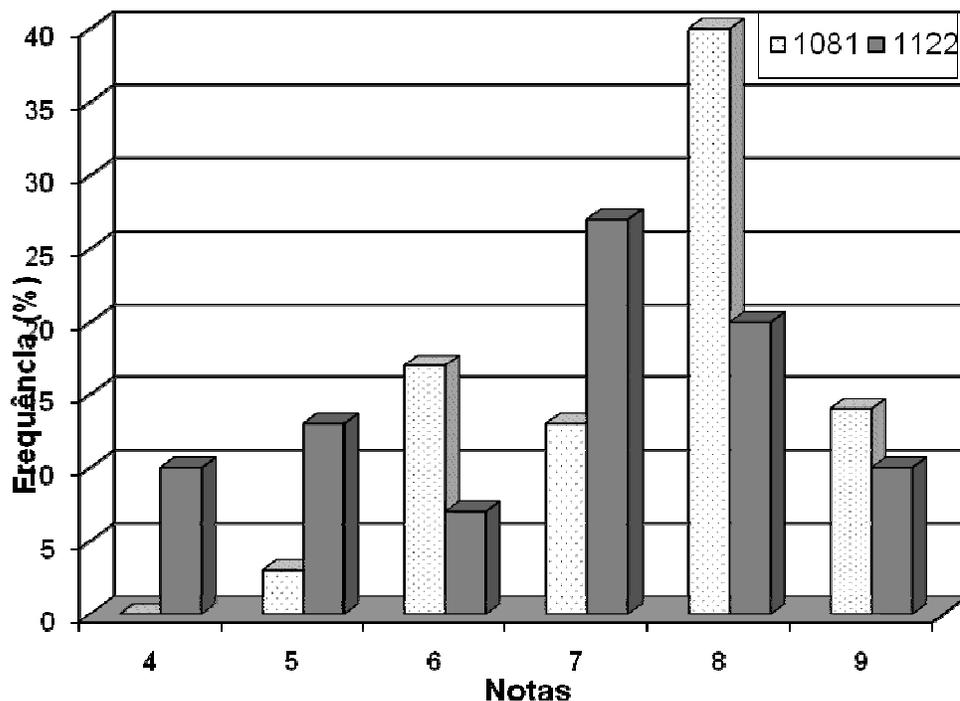
**Tabela 3.2** Médias das notas atribuídas pelos provadores para os *chips* dos dois cultivares de batata-doce biofortificadas fritos em oleína de palma.

Atributos	Cultivar 1081	Cultivar 1122
<b>Aparência Global</b>	6,86 ± 1,83 <sup>a</sup>	6,23 ± 2,06 <sup>a</sup>
<b>Aroma</b>	7,03 ± 1,27 <sup>a</sup>	7,06 ± 1,41 <sup>a</sup>
<b>Sabor</b>	7,46 ± 1,04 <sup>a</sup>	6,60 ± 1,79 <sup>b</sup>
<b>Textura</b>	5,96 ± 1,86 <sup>a</sup>	5,80 ± 2,09 <sup>a</sup>
<b>Intenção de Compra</b>	3,80 ± 0,92 <sup>a</sup>	3,33 ± 1,21 <sup>a</sup>

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

A frequência, em porcentagem, das notas atribuídas pelos provadores para o atributo sabor dos cultivares 1081 e 1122 encontra-se na Figura 3.2. Analisando o cultivar 1081, nota-se que a maior porcentagem dos provadores (aproximadamente 40%) atribuíram nota 8. No entanto, para o cultivar 1122, a maior porcentagem dos provadores (aproximadamente 25%) atribuíram nota 7.

Estudo realizado por GRIZOTTO; MENEZES (2003) demonstrou que o sabor dos *chips* de mandioca, da variedade IAC Mantiqueira, foi determinante para a aceitação do produto com uma frequência de comentário de 61%.



**Figura 3.2** Frequência de notas atribuídas pelos provadores para os cultivares 1081 e 1122.

Na intenção de compra, 63% dos provadores atribuíram notas 4 e 5 (possivelmente compraria e certamente compraria) para o cultivar 1081. O cultivar

1122 obteve um índice de 50% dos provadores atribuindo notas 4 e 5, como pode ser observado na Figura 3.3.

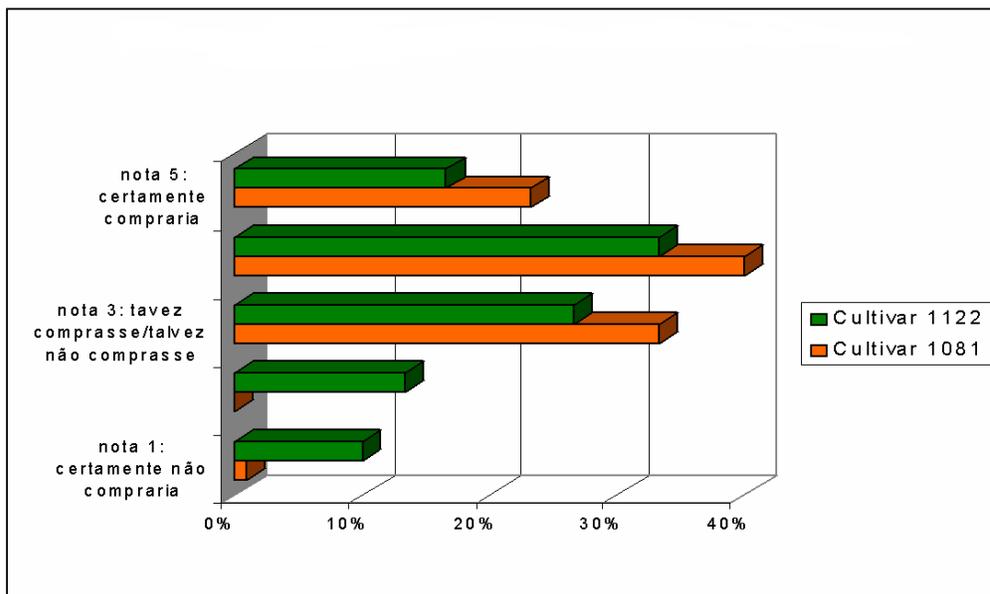


Figura 3.3 Porcentagem das notas atribuídas para intenção de compra dos cultivares 1081 e 1122 de batata doce biofortificada.

#### 4. Conclusão

O cultivar de batata-doce biofortificada 1081 mostrou ser um potencial para a produção de *chips* de batata-doce biofortificada em função da melhor aceitação com relação ao sabor.

#### 5. Referências bibliográficas

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed., Saint Paul: AACC, 1995.

BATES, C.J.. Vitamin A. *Lancet.*; 345: 31-5, 1995.

FAO (Food and Agriculture Organization)/ WHO (World Health Organization). Vitamin A. In: FAO/WHO. Human vitamin and mineral requirements. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Bangkok; 2001. p. 87-107.

FONTES, L.C.B.; TEIXEIRA, A.M.; RAMOS, K.K.; SIVI, T.C.; QUEIROZ, F.P.C. **Aceitação sensorial de chips de batata-doce (*Ipomoea Batatas*) e inhame (*Dioscorea spp.*) fritos em oleína e estearina de palma.** XII Congresso Latino-Americano de Óleos e Gorduras realizado de 12 a 14 de novembro de 2007, Florianópolis, Santa Catarina. (Resumo Expandido, Pôster e Apresentação Oral).

GRIZOTTO, R.K.; MENEZES, H.C. Avaliação da aceitação de “chips” de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, 0.79-86, 2003.

MINIM, V.P.R. **Análise sensorial: estudos com consumidores.** Editora: Universidade Federal de Viçosa. 225p., 2006.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. v.1, 533p., 1985.

OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SEDIYAMA, T.; FINGER, F. L.; CRUZ, C. D. Variabilidade genética em batata-doce com base em marcadores isoenzimáticos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 576-582, 2002.

SOARES, K. T.; MELO, A. S.; MATIAS, E. C. **A cultura da batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.).** EMEPA-PB (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S. A.). João Pessoa: Documento 41, 2002, 26p.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory Evaluation Practices**, 2 ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1993, 311p.

## 6. Agradecimentos

A Embrapa pela doação dos cultivares de batata-doce biofortificada, ao grupo Agropalma pela doação da oleína de palma, à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e à FAPES pelo auxílio à pesquisa.

## **CAPÍTULO 4 - ESTUDO DO EFEITO DE DIFERENTES ANTIOXIDANTES NA PREVENÇÃO DE ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE BATATA-DOCE E INHAME**

---

Este artigo foi submetido à Brazilian Journal of Food Technology no dia 14/01/09.

FONTES, L.C.B.; SIVI, T.C.; RAMOS, K.K.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. **Estudo da atuação de diferentes antioxidantes enzimático de batata-doce e inhame.** 7º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos – Ciência e Tecnologia de Alimentos em Benefício à Sociedade: Ligando a Agricultura à Saúde realizado de 04 a 07 de novembro de 2007, Campinas, São Paulo (Resumo e Pôster).



## **CAPÍTULO 4**

### **ESTUDO DA ATUAÇÃO DE DIFERENTES ANTIOXIDANTES NA PREVENÇÃO DE ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DE BATATA-DOCE E INHAME**

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Thaís Cristina SIVI; Kazumi Kawasaki RAMOS; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ

#### **Resumo**

O escurecimento de vegetais é iniciado pela oxidação enzimática de compostos fenólicos através da polifenoloxidase. A prevenção da oxidação em tecidos vegetais pode ocorrer por procedimentos físicos e químicos (antioxidantes). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos seguintes antioxidantes na redução do escurecimento de batata-doce e inhame: ácido ascórbico (AA); ácido cítrico (AC); ácido oxálico (AO) e metabissulfito de sódio (MBS). Os tubérculos foram lavados em água corrente, descascados manualmente e mantidos imersos em água destilada até o momento do processamento. A seguir, foi iniciado o fatiamento (3mm) e as fatias foram imersas nas soluções antioxidantes na proporção 2:1 (solução: batata) durante 15 minutos. As concentrações das soluções antioxidantes utilizadas foram: 1,0 e 2,0% de AA, AC e MBS; 0,010 e 0,10% de AO. Posteriormente, as fatias foram retiradas das soluções e estocadas em placas de plexiglas a temperatura de 25°C por um período de 3 dias. Foram realizadas análises para caracterização da matéria-prima e diariamente foi determinado em colorímetro colorQUEST II (HunterLab) o índice de escurecimento com calibração: ângulo de observação de 10° e iluminante D65. As batatas-doces e os inhames controles apresentaram índice de escurecimento 30% superior às do tratamento com solução de MBS 2,0%. Os índices de escurecimento para a batata-doce, no terceiro dia de estocagem, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos controle, AC (1,0 e 2,0%) e AO (0,010%). Este comportamento também foi observado para o inhame quanto aos

tratamentos realizados com AA (1,0%), AC (1,0%), AO (0,010 e 0,10%) e controle. A solução de MBS 1,0 e 2,0% apresentaram os menores índices de escurecimento nos dias avaliados. O uso da solução de metabissulfito de sódio 1,0% seria uma opção a inibição do escurecimento da batata-doce e do inhame.

**Palavras chave:** tubérculos, antioxidantes, escurecimento enzimático.

## 1. Introdução

O escurecimento de frutas e de certos vegetais é iniciado pela oxidação enzimática, pela atuação da polifenoloxidase, de compostos fenólicos. O produto final da oxidação é a quinona, que rapidamente se condensa, formando pigmentos escuros insolúveis, denominado melanina, ou reage não enzimaticamente com outros compostos fenólicos, aminoácidos e proteínas, formando também melanina (LUPETTI et al., 2005).

A reação de escurecimento em frutas, vegetais e bebidas é um dos principais problemas na indústria de alimentos. Estima-se que em torno de 50% da perda de frutas tropicais no mundo é devida à enzima polifenoloxidase. A ação desta enzima conduz à formação de pigmentos escuros, frequentemente acompanhados de mudanças indesejáveis na aparência e nas propriedades organolépticas do produto, resultando na diminuição da vida útil e do valor de mercado (ARAUJO, 2008).

A prevenção da oxidação em tecidos vegetais pode ser realizada por: (i) inativação térmica da enzima pelo uso do calor; (ii) remoção de um ou ambos os substratos (oxigênio, substrato da enzima); (iii) redução do pH em duas ou mais unidades abaixo do pH ótimo (6,0); (iv) adição de substâncias redutoras que inibam a ação da polifenoloxidase ou previnam a formação da melanina (como o ácido ascórbico ou ácido cítrico) (ARAUJO, 2008).

Os processos físicos de conservação de alimentos, como a desidratação, armazenamento a baixas temperaturas e tratamentos térmicos, apesar de serem os mais adotados, possuem uma série de limitações. Alguns alimentos não podem passar por estes processos, pois podem alterar suas propriedades organolépticas, como sabor e odor (LUPETTI et al., 2005).

Os métodos químicos estão baseados em interferir no sistema oxidante que necessita da presença de três componentes: enzima, oxigênio e substrato. Para evitar a oxidação, é necessário inativar a enzima ou eliminar o oxigênio. Entretanto,

a inativação das enzimas é, algumas vezes, prejudicial e a eliminação do oxigênio é difícil. Nesse caso, o único recurso possível é o uso de substâncias antioxidantes (FAGUNDES; AYUB, 2005).

Neste trabalho foi avaliado o efeito de diferentes concentrações dos antioxidantes: ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido oxálico e metabissulfito de sódio na redução do escurecimento enzimático de batata-doce e inhame.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Matérias primas**

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) e o inhame (*Dioscorea spp*) foram adquiridos no CEASA-Campinas e foram utilizados aproximadamente 3Kg de cada tubérculo. O hipoclorito de sódio, utilizado para higienização, foi da marca CHEMCO. Os antioxidantes utilizados foram: (i) ácido ascórbico (marca NUCLEAR), (ii) ácido cítrico (marca SYNTH), (iii) metabissulfito de sódio (marca SYNTH) e (iv) ácido oxálico (marca ECIBRA).

### **2.2 Preparo das fatias de batata-doce e inhame**

Os vegetais foram lavados em água corrente para a retirada de sujidades grosseiras oriundas do campo e higienizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 0,2% durante 10 minutos. Posteriormente, os tubérculos foram descascados com auxílio de descascador manual de aço inoxidável e mantidos imersos em água filtrada até o momento do processamento. A seguir, foi iniciado o fatiamento, na espessura de 3 mm, em Processador de Alimentos EL. Inox (marca SKYMSSEN, modelo PAIE, Brasil). Esta espessura foi estipulada para que não houvesse a passagem de luz pela fatia, resultando em um dado errôneo registrado pelo colorímetro.

### **2.3 Preparo das soluções antioxidantes**

As concentrações estudadas das soluções antioxidantes foram baseadas em estudos científicos e testes preliminares (LUPETTI et al., 2005; FAGUNDES; AYUB, 2005): (i) 1,0 e 2,0 % de ácido ascórbico (AA), ácido cítrico (AC) e metabissulfito de sódio (MBS); (ii) 0,010 e 0,10% de ácido oxálico (AO). As fatias foram imersas nas soluções antioxidantes na proporção 2:1 (volume/massa) durante 15 minutos e algumas fatias foram separadas para o tratamento controle. Posteriormente, as fatias foram retiradas das soluções e estocadas sobre placas de plexiglas® a temperatura de 25°C por um período de 3 dias.

### **2.4 Análises físicas e químicas da matéria-prima**

Os vegetais foram avaliados separadamente, em triplicata, quanto ao teor de umidade de acordo com o método nº 44-40 (AACC, 1995); proteína pelo método de Kjeldahl nº 46-11 (AACC, 1995); cinzas, de acordo com o método nº 08-01 (AACC, 1995); lipídios, segundo método Soxhlet 02-01 (AACC, 1995); fibra bruta (NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985) e carboidratos por diferença (incluindo as fibras).

#### **2.4.1 Análise instrumental de cor**

A análise instrumental de cor foi realizada utilizando-se colorímetro, modelo ColorQuest II, marca HunterLab com calibração: (i) ângulo de visão de 10° e (ii) iluminante D65 e sistema de cor CIELab. Os parâmetros avaliados foram (L\*, a\* e b\*). O índice de escurecimento (IE) foi determinado diariamente, em quadruplicata, durante 3 dias, conforme Equações (1) e (2) segundo MACDOUGALL (2002).

$$IE = [100 (X - 0,31)] / 0,172 \quad (1)$$

$$X = (a + 1,75.L) / (5,645. L + a - 3,021. b) \quad (2)$$

Onde: IE é o índice de escurecimento;

L é a luminosidade;

a é a coordenada de cromaticidade do verde (-) ao vermelho (+)

b é a coordenada de cromaticidade do azul (-) ao amarelo (+)

### **2.4.2 Análise estatística**

O programa estatístico SAS (Statistical Analysis System) foi utilizado na análise de variância pelo teste F e comparação de médias pelo Teste de Tukey (5%).

## **3. Resultados e discussão**

### **3.1 Análises físicas e químicas**

Os valores encontrados para composição centesimal (Tabela 4.1) são semelhantes aos relatados por SOARES et al. (2002) para batata-doce e por LEONEL; CEREDA (2002) para inhame. As diferenças encontradas são decorrentes provavelmente da variedade, do solo e do clima.

**Tabela 4.1** Composição centesimal de batata-doce e inhame.

<b>Determinações</b>	<b>Batata-doce</b>	<b>Inhame</b>
Umidade %	64,37 ± 0,32	84,00 ± 0,28
Proteína % (b.s.)	6,47 ± 0,02	3,89 ± 0,48
Cinzas % (b.s.)	2,15 ± 0,09	2,29 ± 0,07
Lipídios % (b.s.)	0,44 ± 0,01	0,17 ± 0,06
Fibras % (b.s.)	2,57 ± 0,09	1,61 ± 0,73
Carboidratos % (b.s.)	26,57	9,65

(b.s.) = base seca.

A composição centesimal da batata-doce assemelha-se ao do inhame no teor de cinzas, de acordo com a comparação dos dados apresentado na Tabela 4.1. No entanto, a batata-doce apresenta maior porcentagem de proteína, lipídios, fibras e carboidratos.

### **3.2 Índice de escurecimento da batata-doce**

No dia zero, não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos realizados. No dia 1, os tratamentos AC 1,0% e AO 0,10 e 0,010% não diferiram estatisticamente do tratamento controle permanecendo com os maiores índices de escurecimento. No dia 2, o tratamento controle só diferiu estatisticamente dos tratamentos MBS 1,0 e 2,0%. No dia 3, os tratamentos que apresentaram os maiores índices de escurecimento foram: controle, AC 1,0%, AO 0,010% (Tabela 4.2).

Os tratamentos AA 1,0 e 2,0% e MBS 1,0 e 2,0% não apresentaram diferenças significativas em cada dia avaliado. No dia 3, o tratamento AA 1,0% e

MBS 1,0% apresentaram maiores valores de índices de escurecimento, fato que pode ser justificado pela menor concentração utilizada do antioxidante.

Os tratamentos AC 1,0 e 2,0% apresentaram diferença significativa no índice de escurecimento no dia 1 de estocagem. O tratamento AC 1,0% apresentou maior índice de escurecimento a partir do dia 1.

Os tratamentos AO 0,010 e 0,10% apresentaram diferença significativa apenas no dia 3 e o tratamento AO 0,010% apresentou os maiores índices de escurecimento.

O tratamento controle, no terceiro dia, apresentou índice de escurecimento 1,90 vezes superior em relação ao tratamento com solução de MBS 2,0%.

O tratamento MBS (2,0%) foi o único tratamento que não apresentou diferença significativa no decorrer do tempo de estocagem e, portanto, é a opção mais eficiente para a inibição do escurecimento enzimático de batata-doce.

Estudo utilizando solução de bissulfito de sódio, na concentração de 0,25%, em maçãs das cultivares Fuji e Gala apresentou maior aceitação do atributo cor devido ao menor escurecimento enzimático através da análise descritiva quantitativa (HAMINIUK et al., 2005).

**Tabela 4.2** Índice de escurecimento de batata-doce durante o período de 3 dias.

Tratamentos	Dia 0	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Controle	35,99 ± 0,06 <sup>ab</sup>	49,87 ± 3,61 <sup>aAB</sup>	46,81 ± 6,12 <sup>aAB</sup>	53,76 ± 0,39 <sup>abA</sup>
AA 1,0%	22,79 ± 0,58 <sup>ab</sup>	27,65 ± 3,89 <sup>cdB</sup>	39,87 ± 0,97 <sup>aA</sup>	37,56 ± 1,36 <sup>cdA</sup>
AA 2,0%	24,68 ± 3,10 <sup>ab</sup>	37,76 ± 0,17 <sup>bcA</sup>	35,43 ± 0,28 <sup>abA</sup>	31,26 ± 3,96 <sup>cdAB</sup>
AC 1,0%	32,47 ± 0,06 <sup>ab</sup>	43,31 ± 1,83 <sup>abA</sup>	41,73 ± 0,81 <sup>aA</sup>	41,90 ± 0,64 <sup>abcA</sup>
AC 2,0%	24,42 ± 0,94 <sup>ab</sup>	30,34 ± 4,68 <sup>cdAB</sup>	36,53 ± 0,29 <sup>abA</sup>	40,69 ± 1,82 <sup>bcdA</sup>
AO 0,010%	34,26 ± 10,47 <sup>ab</sup>	46,47 ± 2,22 <sup>abA</sup>	37,82 ± 7,73 <sup>ab</sup>	54,05 ± 2,59 <sup>aA</sup>
AO 0,10%	35,91 ± 0,63 <sup>ac</sup>	41,74 ± 1,48 <sup>abAB</sup>	44,83 ± 1,65 <sup>aA</sup>	37,22 ± 0,10 <sup>cdBC</sup>
MBS 1,0%	21,91 ± 1,10 <sup>ab</sup>	21,36 ± 0,20 <sup>dB</sup>	22,95 ± 3,56 <sup>bB</sup>	36,28 ± 0,28 <sup>cdA</sup>
MBS 2,0%	29,02 ± 2,80 <sup>aA</sup>	27,77 ± 0,06 <sup>cdA</sup>	23,21 ± 1,27 <sup>bA</sup>	28,16 ± 8,46 <sup>dA</sup>

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância. AA= ácido ascórbico; AC= ácido cítrico; AO= ácido oxálico; MBS= metabissulfito de sódio.

### 3.3 Índice de escurecimento de inhame

No dia zero, os tratamentos AA 1,0% e AO 0,10% apresentaram os menores índices de escurecimento diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. No dia 1, os tratamentos controle e AO 0,010 e 0,10% apresentaram maiores índices de escurecimento diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. No dia 2, o tratamento controle diferiu estatisticamente dos demais tratamentos apresentando o maior índice de escurecimento, no entanto, os tratamentos MBS 1,0 e 2,0% apresentaram os menores índices de escurecimento (Tabela 4.3).

Os tratamentos controle, AA 1,0%, AC 1,0% e AO 0,010% e 0,10% não apresentaram diferenças significativas no dia 3, e os tratamentos MBS 1,0 e 2,0% apresentaram os menores índices de escurecimento.

Os tratamentos AA 1,0 e 2,0% apresentaram diferenças significativas entre si nos dias 1 e 2 de estocagem, com menor índice de escurecimento para o tratamento AA 2,0% no dia 3.

Os tratamentos AC 1,0 e 2,0% apresentaram diferença significativa no índice de escurecimento nos dias 2 e 3 de estocagem. O tratamento AC 1% apresentou maior índice de escurecimento no dia 3.

Os tratamentos AO 0,010% e 0,10% apresentaram diferença significativa nos dias 1 e 2 e o tratamento AO 0,010% apresentou maior índice de escurecimento.

**Tabela 4.3** Índice de escurecimento de inhame durante o período de 3 dias.

Tratamentos	Dia 0	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Controle	13,94 ± 0,38 <sup>ab</sup>	21,06 ± 1,83 <sup>ab</sup>	38,25 ± 1,15 <sup>aA</sup>	44,17 ± 5,03 <sup>abA</sup>
AA 1,0%	9,51 ± 0,11 <sup>bd</sup>	14,06 ± 0,03 <sup>bcC</sup>	27,92 ± 0,00 <sup>dB</sup>	37,56 ± 1,60 <sup>bcA</sup>
AA 2,0%	12,50 ± 0,38 <sup>abC</sup>	12,96 ± 0,00 <sup>bcC</sup>	35,04 ± 0,20 <sup>bA</sup>	30,07 ± 1,71 <sup>cb</sup>
AC 1,0%	10,55 ± 0,05 <sup>abC</sup>	13,49 ± 0,61 <sup>bcC</sup>	23,27 ± 1,65 <sup>eB</sup>	44,82 ± 0,59 <sup>abA</sup>
AC 2,0%	11,44 ± 1,17 <sup>abB</sup>	12,88 ± 3,63 <sup>bcB</sup>	18,84 ± 0,62 <sup>fB</sup>	29,67 ± 0,67 <sup>cA</sup>
AO 0,010%	13,16 ± 0,05 <sup>abD</sup>	15,99 ± 0,91 <sup>abcc</sup>	33,25 ± 0,77 <sup>bcB</sup>	49,07 ± 0,41 <sup>aA</sup>
AO 0,10%	9,58 ± 0,66 <sup>bb</sup>	16,70 ± 0,32 <sup>abB</sup>	30,69 ± 0,34 <sup>cdA</sup>	37,66 ± 4,67 <sup>bcA</sup>
MBS 1,0%	13,83 ± 2,74 <sup>aA</sup>	12,20 ± 0,03 <sup>bcA</sup>	11,35 ± 0,42 <sup>gA</sup>	10,28 ± 1,10 <sup>dA</sup>
MBS 2,0%	10,55 ± 0,58 <sup>abA</sup>	10,77 ± 0,16 <sup>cA</sup>	8,64 ± 0,46 <sup>gB</sup>	10,66 ± 0,09 <sup>dA</sup>

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância. AA= ácido ascórbico; AC= ácido cítrico; AO= ácido oxálico; MBS= metabissulfito de sódio.

O tratamento controle, no dia 3, apresentou índice de escurecimento 4,29 vezes superior em relação ao tratamento com solução de MBS 1,0% (Tabela 4.3). Para os tratamentos AA (1,0%), AC (1,0%) e AO (0,010 e 0,10%), não ocorreram diferenças significativas entre o índice de escurecimento no terceiro dia de estocagem.

O tratamento MBS 1,0% foi o único tratamento que não apresentou diferenças significativas no decorrer do tempo de estocagem, por isso, é a opção mais eficiente para a inibição do escurecimento enzimático de inhame.

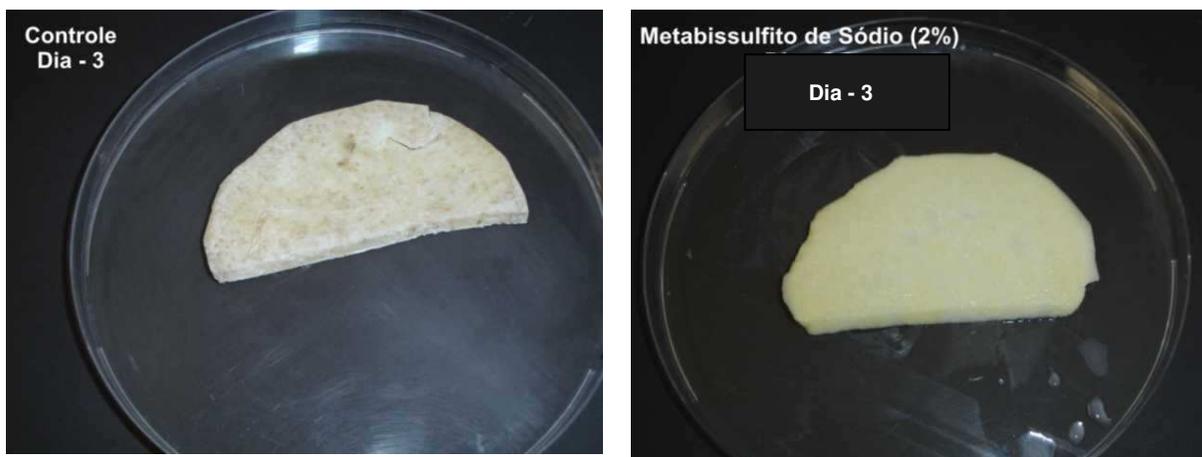
Estudo utilizando antioxidantes como: ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido oxálico e bissulfito de sódio em fatias de banana, maçã e pêra foi verificado que o bissulfito de sódio na concentração de 1,0% apresentou maior caráter inibitório de escurecimento para todos os frutos (LUPETTI et al., 2005).

Os antioxidantes apresentaram comportamento similar tanto para a batata-doce como para o inhame. O antioxidante de menor eficiência no processo foi o ácido oxálico 0,010% e o melhor foi o metabissulfito de sódio (1,0 e 2,0%). No entanto, para a batata-doce a solução de metabissulfito de sódio 2,0% foi a mais eficaz contra o escurecimento enzimático e para o inhame foi a solução de metabissulfito de sódio 1,0%.

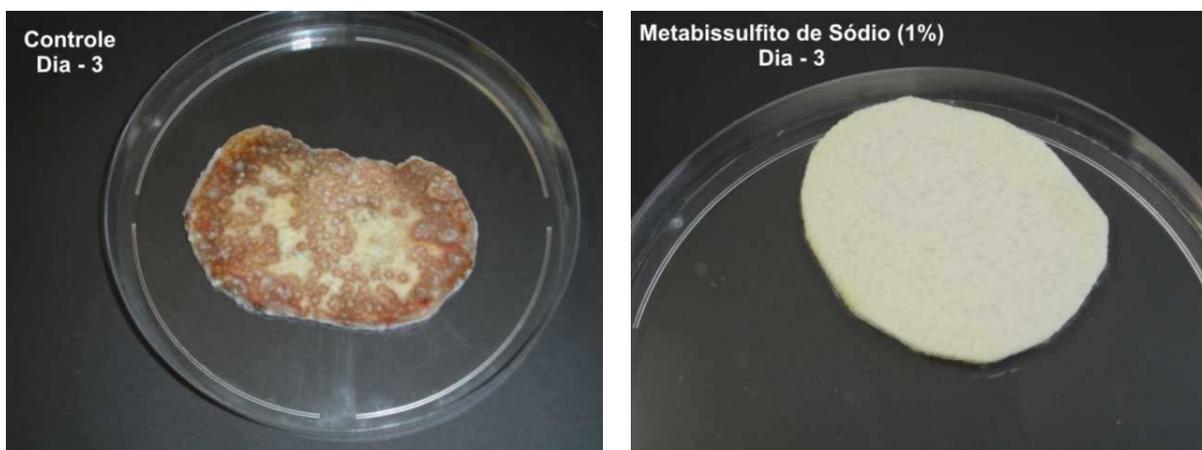
### **3.4 Aspecto visual da batata-doce e do inhame**

Pelas Figura 4.1 e Figura 4.2, podem ser confirmados visualmente os resultados obtidos pelo acompanhamento instrumental da alteração de cor. A solução de metabissulfito de sódio 2,0% para a batata-doce e 1,0% para o inhame foram eficazes na prevenção do escurecimento enzimático após a estocagem a 25°C durante 3 dias.

A batata-doce controle apresentou coloração esbranquiçada e pontos de cor marrons. Já o inhame controle apresentou pontos e manchas de cor marrom, e com presença de fungos no dia 3 de estocagem.



**Figura 4.1** Batata-doce controle e com solução de metabissulfito de sódio 2,0%, no 3º dia de estocagem.



**Figura 4.2** Inhame controle e com solução de metabissulfito de sódio 1,0%, no 3º dia de estocagem.

#### 4. Conclusão

O uso de metabissulfito de sódio como antioxidante constitui-se no método mais eficiente como tratamento preliminar para a inibição do escurecimento enzimático de batata-doce e inhame fatiados nas condições e concentrações e tipo

de antioxidante deste estudo. A melhor concentração para batata-doce, entretanto, foi a de 2% e para inhame a de 1%.

## 5. Referências bibliográficas

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed., Saint Paul: AACC, 1995.

ARAUJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. Editora: Universidade Federal de Viçosa, 596p., 4ª edição, 2008.

FAGUNDES, A.F.; AYUB, R.A. Caracterização físico-química de caquis cv. Fuyu submetidos à aplicação de agentes inibidores de escurecimento e armazenados a 0°C. **Acta Science Agronomy**. Maringá, Paraná, v.27, n.3, p.403-408, 2005.

HAMINIUK, C.W.I.; OLIVEIRA, C.R.G.; BAGGIO, E.C.R.; MASSON, M.L. Efeito de pré-tratamentos no escurecimento das cultivares de maçãs Fuji e Gala após congelamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.5, p.1029-1033, 2005.

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

LUPETTI, K.O.; CARVALHO, L.C.; MOURA, A.A.; FATIBELLO-FILHO, O. Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. **Química Nova**, v.28, n.3, p.548-554, 2005.

MACDOUGALL, D.B. Colour measurement of food. **Woodhead Publishing Limited and CRC Press**, LLC, cap.3, 2002.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. v.1, 533p., 1985.

SOARES, K. T.; MELO, A. S.; MATIAS, E. C. **A cultura da batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. EMEPA-PB (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S. A.). João Pessoa: Documento 41, 2002, 26p.

## 6. Agradecimentos

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e à FAPESP pelo auxílio à pesquisa.



**CAPÍTULO 5 - EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS E  
CONCETRAÇÃO DAS SOLUÇÕES DESIDRATANTES  
NO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE  
BATATA-DOCE**

---

FONTES, L.C.B.; SIVI, T.C.; RAMOS, K.K.; QUEIROZ, F.P.C. **Estudo do processo de desidratação osmótica de batata-doce.** XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos CBCTA, realizado de 06 a 09 de outubro de 2008, Belo Horizonte, MG (Resumo Expandido e Pôster).



## CAPÍTULO 5

### EFEITO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS E CONCENTRAÇÃO DAS SOLUÇÕES DESIDRATANTES NO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BATATA-DOCE

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Thaís Cristina SIVI; Kazumi Kawasaki RAMOS; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### Resumo

Neste estudo, o processo de desidratação osmótica de batata-doce foi otimizado utilizando-se o delineamento composto central rotacional com 4 variáveis (concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub>, concentração de xarope de glicose, temperatura e tempo). As variáveis respostas avaliadas foram: perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), visando uma maximização da PA e minimização do GS. A variável que exerceu maior influência sobre as respostas foi a concentração de xarope de glicose. A média da perda de água foi ao redor de 35,42 ( $\pm 1,53$ )%. As maiores perdas de água foram alcançadas quando: (i) a concentração de xarope de glicose foi superior a 57,5%; (ii) temperatura entre 25 e 32°C e (iii) tempo entre 60 e 150 minutos. A média do ganho de sólidos foi ao redor de 1,19 ( $\pm 0,81$ )%. Pela análise de variância do GS, foi observado que o modelo apresentou regressão não significativa. A condição ótima para a desidratação osmótica baseada na perda de água de fatias de batata-doce, corresponde à combinação dos seguintes valores das variáveis estudadas: concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> igual a 20/0,5; concentração de xarope de glicose igual a 57,5%; temperatura de 25°C e tempo de 60 minutos.

**Palavras chave:** batata-doce, desidratação osmótica e planejamento experimental.



## 1. Introdução

A batata-doce pertence à família das *Convolvuláceas*, sendo originária das Américas Central e do Sul. Embora perene, essa tuberosa é considerada anual, rústica, de fácil cultivo, de boa resistência à seca, ampla adaptação e baixo custo de produção. Apresenta caule tenro, que se desenvolve rastejante no solo, impedindo a erosão e o crescimento de plantas daninhas e possui a característica de armazenar reservas nutritivas em suas raízes, possuindo imenso potencial alimentício e industrial (FIRETTI; MONTES, 2008).

Em termos de volume de produção mundial, a cultura ocupa o sétimo lugar, mas é a décima quinta em valor da produção, o que indica ser uma cultura de baixo custo de produção. Aproximadamente 90% da produção mundial é obtida na Ásia, onde se destaca a China como maior produtor mundial com 100 milhões de toneladas/ano (SILVA et al., 2008).

O Brasil é o principal produtor do continente latino-americano. A produção anual é cerca de 533.000 toneladas, obtidas em uma área estimada de 47.000 hectares. A região Sul é a principal produtora, responsável por 50% da produção, seguida pelo Nordeste com 33% e a região Sudeste com 15% (PAM, 2003).

Dentre as hortaliças, a batata-doce ocupa o 5º lugar em área plantada, logo após a batata inglesa, a melancia, a cebola e o tomate. As raízes apresentam teor de carboidratos variando entre 25 e 30%, dos quais 98% são facilmente digestíveis (CLARK; MOYER, 1988). As raízes recém colhidas possuem normalmente um baixo teor de sólidos solúveis, que tende a aumentar durante o armazenamento devido à ação das enzimas amilolíticas (RUIZ, 1984). A batata-doce na colheita contém entre 16 e 40% de massa seca. Dessa massa, 75 a 90% são carboidratos, compostos por açúcar, celulose pectina e hemicelulose. A sacarose é o açúcar mais abundante na batata-doce crua, com uma pequena quantidade de glicose e frutose. Devido à sua relativa abundância, os carboidratos aumentam o valor calórico da batata-doce, sendo o amido a principal fonte

(BOUWKAMP, 1985). Também são excelentes fontes de minerais e vitaminas, podendo ainda ser utilizada no preparo de doces, na extração de amido ou na produção de álcool (MIRANDA et al., 1984).

A vida útil da batata-doce não é superior a algumas semanas. Nas fazendas, a estocagem é difícil. As raízes são geralmente colhidas e consumidas durante o curto período da estação de plantio. Contudo, uma extensão da vida útil faria o comércio dessa raiz durar por um período de tempo mais longo, melhorando a renda dos produtores, além de garantir a segurança alimentar. Sabe-se que, em algumas regiões africanas, essa raiz é fatiada e desidratada para aumentar sua conservação (OIRSCHOT et al., 2003).

A desidratação osmótica, uma das técnicas mais antigas para preservação de alimentos, constitui-se em uma alternativa promissora para o aumento da estabilidade e vida útil da batata-doce. Este processo consiste na remoção parcial de água pela imersão da matéria-prima em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, originando dois fluxos simultâneos opostos: (i) saída de água do alimento para a solução hipertônica e (ii) migração de solutos para o alimento. Há ainda um terceiro fluxo, quase que irrelevante, que consiste na perda de alguns sólidos naturais do alimento, como açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, entre outros nutrientes. Embora este fluxo seja insignificante quando comparado aos outros dois, pode ser importante no que diz respeito às características organolépticas e nutricionais do produto final (RAOULT-WACK, 1994). A força motriz necessária para a remoção de água do alimento é adquirida através do gradiente de concentração entre a solução osmótica e o fluído intracelular, onde a parede celular dos vegetais atua como uma membrana semipermeável (ERTEKIN; CAKALOZ, 1996).

Durante a transferência de massa, ocorrem mudanças nas propriedades macroscópicas dos alimentos em níveis determinados pelas condições do processo e características do alimento. Estas mudanças estão diretamente relacionadas à cor, aparência e textura do produto final (TALENS et al., 2001).

Quando o processo é conduzido em condições típicas, como temperatura na faixa de 30 a 50°C, pressão atmosférica e produto em tamanho reduzido, maior transferência de massa ocorre durante as primeiras duas horas. Posteriormente, a taxa de remoção de água começa a diminuir até cessar totalmente, enquanto que o ganho de soluto continua aumentando de maneira constante, resultando em um produto rico em sólidos (RAOULT-WACK, 1994). O ganho em sólidos, no processo de desidratação é indesejável, pois pode conferir alterações nas propriedades sensoriais do produto. No entanto, há processos em que se deseja a incorporação de solutos, os chamados processos de impregnação, onde a presença do soluto confere propriedades desejáveis (BARBOSA JÚNIOR, 2002).

A desidratação osmótica promove grande remoção de água (40 a 70% do produto inicial), diminuindo com isso a massa do alimento, garantindo economia e praticidade em seu armazenamento e transporte. Um ganho de sólidos limitado e controlado (5 a 25% do produto inicial) ocorre, principalmente, quando são usadas soluções de alta concentração (50 a 75%) (TOREZAN, 2005).

Os principais parâmetros que influenciam a transferência de massa no processo de desidratação osmótica são: (i) composição química e concentração da solução osmótica; (ii) temperatura e (iii) tempo de imersão.

O tipo de soluto utilizado afeta fortemente a cinética de perda de água, ganho de sólidos e a umidade de equilíbrio. O aumento da massa molecular dos solutos favorece a perda de água, com baixa incorporação de sólidos, favorecendo a perda de peso e levando a um material mais desidratado do que impregnado. A maior penetração de solutos de baixa massa molecular (glicose, frutose e sorbitol) dentro das células favorece o fenômeno de impregnação sobre a desidratação (HENG et al., 1990). O xarope de glicose apresenta menor massa molecular do que a sacarose, por isso exerce maior pressão osmótica, penetrando mais facilmente nos tecidos do vegetal, inibindo o ataque microbiano e os processos fermentativos (ANDREOTTI; MATALONI, 1990). A utilização de cloreto de cálcio, na concentração de 0,04M, como soluto para desidratação osmótica de

carambolas aumentou a eficiência do processo e as frutas apresentaram uma maior aceitação sensorialmente (SHIGEMATSU et al., 2005).

A diferença de concentração em soluto entre o produto e a solução é a força motriz de transferência de massa no processo de desidratação osmótica, sendo que o aumento da concentração da solução favorece mais a perda de água que o ganho de sólidos (LENART; FLINK, 1984). Em trabalhos realizados por RAOULT-WACK et al. (1991) e LENART (1996), foi verificado que em diferenças de concentrações iniciais menores que 40%, ocorre predominantemente o fenômeno de incorporação de solutos, enquanto que em concentração superior a esse percentual, há uma maior taxa de saída de água, ou seja, ocorre a desidratação propriamente dita.

A temperatura é um fator de grande importância no processo de desidratação osmótica e está relacionada com a ruptura dos tecidos e membranas dos vegetais. Por esta razão, o efeito deste fator na cinética do processo de desidratação osmótica é um dos aspectos mais estudados (TONON, 2005). A taxa de perda de água aumenta com o aumento da temperatura. A elevação da temperatura leva ao incremento das propriedades de transporte de água dentro do alimento e transferência de matéria na interface alimento/solução, pela diminuição da viscosidade (BOHUON; RAOULT-WACK, 2002). Porém, em temperaturas de processo acima de 45°C, começam reações de escurecimento enzimático e deterioração de compostos de aroma; em temperaturas de 60°C, o tecido celular sofre alterações, perdendo sua seletividade e favorecendo a impregnação por solutos. Entretanto, a melhor temperatura de processo depende do material a ser desidratado; de maneira geral, os processos de desidratação osmótica são conduzidos em uma faixa entre 20 e 40°C (TORREGIANI, 1993).

O objetivo deste estudo foi obter uma maximização da perda de peso e perda de água, juntamente com uma minimização do ganho de sólidos.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Material**

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) da variedade Mona Lisa amarela foi adquirida de um único produtor no CEASA – Campinas/SP. Para a elaboração da solução osmótica foram utilizados: (i) glicerol (Synth, Diadema/SP); (ii) cloreto de cálcio (Synth, Diadema/SP) e (iii) xarope de glicose (Corn Products, Mogi Guaçu/SP). O nome comercial do xarope de glicose é EXCELL ® 1020, com valor de dextrose equivalente de 40.

### **2.2 Caracterização química da matéria-prima**

A batata-doce *in natura* foi avaliada, em triplicata, com relação às características químicas para verificar mudanças na sua composição com o processamento.

#### **2.2.1 Composição centesimal**

O teor de umidade foi avaliado de acordo com o método nº 44-40 da AACC (1995); proteína pelo método de Kjeldahl nº 46-11 da AACC (1995); cinzas, de acordo com o método nº 08-01 da AACC (1995); lipídios, segundo método Soxhlet 02-01 da AACC (1995); fibra bruta pelo método das NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985) e carboidratos por diferença (incluindo as fibras).

#### **2.2.2 pH**

O pH foi determinado em potenciômetro a partir de amostras liquefeitas, segundo método 02-52 da AACC (1995).

### **2.2.3 Sólidos totais**

Os sólidos totais foram determinados por secagem em estufa a vácuo, a 70°C até massa constante, conforme o método nº 920.151 da AOAC (1997).

### **2.2.4 Sólidos solúveis**

O teor de sólidos solúveis foi determinado através de leitura direta em refratômetro (marca Carl Zeiss), com correção de acordo com a temperatura.

### **2.2.5 Acidez total titulável**

A acidez foi determinada pelo método nº 942.15 da (AOAC, 1997) e expressa em % de ácido málico.

### **2.2.6 Açúcares redutores, não redutores e totais**

Os açúcares redutores, não redutores e totais foram determinados pelo método de Lane e Eynon nº 925.35 e nº 925.36 da AOAC (1997).

### **2.2.7 Atividade de água**

A atividade de água foi realizada com o auxílio do equipamento Aqualab (modelo 3 TE, série 0600 708, Braseq, Brasil).

## **2.3 Preparo das amostras**

Os tubérculos foram lavados em água corrente para retirada das sujidades grosseiras oriundas do campo. Posteriormente, foram descascados com auxílio de descascador manual de aço inoxidável e o fatiamento, na espessura de 3mm, foi realizado em Processador de Alimentos EL. Inox (marca SKYMPSEN, modelo

PAIE, Brasil). A espessura de 3mm foi determinada de acordo com testes preliminares realizados neste trabalho, e foi verificado que em fatias de batata-doce com menores espessuras foi observada uma modificação na sua textura, tornando-a quebradiça e desintegrada, sendo imprópria para os processos de desidratação osmótica e aplicação da cobertura comestível. Essa espessura também foi a selecionada em outros estudos com *chips*, como por exemplo, em manga e maçã para o processo de desidratação osmótica e uso de coberturas comestíveis, respectivamente (TOREZAN, 2005; QUERIDO, 2005).

### 2.3.1 Preparo da solução osmótica

Para a elaboração da solução osmótica foram utilizados: (i) glicerol; (ii) cloreto de cálcio e (iii) xarope de glicose. A solução de glicerol/ $\text{CaCl}_2$  e xarope de glicose foi preparada na proporção de 1:5 (1 parte de glicerol/ $\text{CaCl}_2$  para 5 partes de xarope de glicose). A solução foi deixada em repouso, após o preparo, para sua estabilização, ou seja, obtenção de solução límpida e sem partículas suspensas.

### 2.3.2 Planejamento experimental

O processo de desidratação osmótica de fatias de batata-doce foi avaliado de acordo com o delineamento composto central rotacional com 4 variáveis independentes ( $2^4 = 16$  ensaios + 8 pontos axiais + 4 pontos centrais, totalizando 28 ensaios), aplicável à metodologia de superfície de resposta a fim de avaliar o efeito das condições operacionais (temperatura e tempo de processo) e concentração das soluções osmóticas no processo de desidratação (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Cada variável foi estudada em 5 níveis diferentes, conforme mostrado na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** Níveis das variáveis independentes no planejamento experimental da desidratação osmótica de fatias de batata-doce.

Variáveis Independentes	-2	-1	0	+1	+2
Glicerol (%) / CaCl <sub>2</sub> (%)	20/0,5	30/1,0	40/1,5	50/2,0	60/2,5
Xarope de glicose (%)	20	32,5	45	57,5	70
Temperatura (°C)	25	32	40	48	55
Tempo (min)	30	60	90	120	150

As variáveis dependentes do processo a serem avaliadas serão: (i) perda de peso; (ii) perda de água; (iii) ganho de sólidos; e (iv) relação de *performance*.

$$\text{Perda de peso} = \text{PP} (\%) = 100 \times \frac{M_i - M_f}{M_i} \quad (1)$$

$$\text{Perda de água} = \text{PA} (\%) = 100 \times \frac{Q_i - Q_d}{M_i} \quad (2)$$

$$\text{Ganho de sólidos} = \text{GS} (\%) = 100 \times \frac{MS_d - MS_i}{M_i} \quad (3)$$

$$\text{Relação de } \textit{performance} = \text{RP} = \frac{\text{PA}}{\text{GS}} \quad (4)$$

Onde:  $M_i$  = massa inicial da amostra (g)

$M_f$  = massa final da amostra (g)

$Q_i$  = quantidade inicial de água na amostra (g)

$Q_d$  = quantidade de água da amostra desidratada (g)

$MS_d$  = matéria seca da amostra desidratada (g)

$MS_i$  = matéria seca inicial da amostra (g)

O objetivo do planejamento experimental foi obter uma maximização da perda de peso e da perda de água, juntamente com uma minimização do ganho de sólidos. Assim, foi realizada uma análise conjunta entre as superfícies obtidas com as respostas analisadas, a fim de se encontrar a região que melhor atendesse aos objetivos deste estudo.

## 2.4 Processo osmótico

As fatias de batata-doce foram pesadas, identificadas e colocadas em béqueres de 250mL contendo a solução osmótica nas concentrações, temperaturas e tempo estabelecidas pelo planejamento experimental. Os béqueres foram colocados em um banho-maria Dubnoff (Nova Ética, modelo 304/D), com controle de agitação 90 rpm. Para garantir que a concentração da solução osmótica sofresse pequena variação ao longo do processo, foi utilizada uma relação de 1:10 de amostra e solução. Após serem retiradas do banho-maria, as batatas foram lavadas com água destilada (20mL) para remover o excesso de solução desidratante, drenadas, secas e finalmente pesadas. Em cada ensaio, as determinações de perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e relação de performance foram realizadas em quintuplicata.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Composição centesimal e caracterização química da batata-doce

As análises de composição centesimal e caracterização da batata-doce *in natura* foram realizadas de acordo com métodos oficiais e os resultados são apresentados na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2** Composição centesimal e caracterização química da batata-doce *in natura*.

Determinações	
Umidade %	69,25 ± 0,46
Proteína % (base seca)	5,82 ± 0,35
Cinzas % (base seca)	3,48 ± 0,51
Lipídios % (base seca)	0,30 ± 0,06
Fibra bruta % (base seca)	2,77 ± 0,08
Carboidratos por diferença% (base seca)	18,38
pH	6,17 ± 0,00
Sólidos totais	30,74 ± 0,46
Sólidos solúveis (°BRIX)	11,82 ± 0,37
Acidez total titulável (%)	2,90 ± 0,00
Açúcares redutores (%)	0,26 ± 0,03
Açúcares não redutores (%)	9,18 ± 0,10
Açúcares totais (%)	9,44 ± 0,18
Atividade de água	0,99 ± 0,00

Comparando-se dos resultados da Tabela 5.2 com os resultados obtidos na literatura (Tabela 5.3), pode se observar que o conteúdo de umidade, sólidos totais e fibras são similares aos encontrados por NEPA (2006); o de carboidratos próximo ao reportado pela UNIFESP (2008). Os teores de proteína, cinzas e lipídios encontrados foram respectivamente 3,88; 3,48 e 3,00 vezes superiores aos encontrados na literatura.

**Tabela 5.3** Dados de composição química média de batata-doce *in natura* reportados em 3 artigos encontrados na literatura.

<b>Componentes</b>	<b>Unidade</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Umidade	%	69,5	77,0	70,0
Proteínas	g/100g	1,3	1,5	
Lipídios totais	g/100g	0,1	0,05	
Colesterol	g/100g	0,0	0,0	
Carboidratos	g/100g	28,2	20,12	33,5
Fibra alimentar	g/100g	2,6	3,0	2,9
Cinzas	g/100g	0,9	0,9	1,0
Energia	Kcal/100g	118,0	86,0	
<b>Minerais</b>				
Potássio	mg/100g	340,0	337,0	420,0
Fósforo	mg/100g	36,0	47,0	
Cálcio	mg/100g	21,0	30,0	
Magnésio	mg/100g	17,0	25,0	
Sódio	mg/100g	9,0	55,0	
Ferro	mg/100g	0,4	0,6	
Manganês	mg/100g	0,1	0,2	
Zinco	mg/100g	0,2	0,3	
Cobre	mg/100g	0,1	0,1	
<b>Vitaminas</b>				
Tiamina	mg/100g	0,06	0,07	
Riboflavina	mg/100g	0	0,06	
Ácido ascórbico	mg/100g		23,0	
Beta-caroteno	mg/100g			0,7

Fonte: 1-NEPA (2006); 2-UNIFESP (2008); 3-ANTONIO (2006).

O valor de pH é semelhante ao encontrado por LEONEL; CEREDA (2002) que foi de 6,29. No entanto, o valor de acidez total titulável foi 2,7 vezes inferior ao encontrado pelo mesmo autor que foi de 7,93.

KOHYAMA; NISHINARI (1992), pesquisando o teor de açúcares totais em batata-doce crua, encontraram uma variação entre 8 e 15%, em cuja faixa de valores encontra-se o resultado do presente trabalho (9,44). O teor de açúcares não redutores é 2,7 vezes superior ao encontrado por MAIA et al. (1987). No entanto, o valor de açúcares redutores foi 4,5 vezes (457%) inferior ao encontrado pelo mesmo autor.

A atividade de água da batata-doce foi semelhante ao valor encontrado por ANTONIO (2006), que foi de 0,98.

As diferenças encontradas tanto na composição centesimal como na caracterização química da batata-doce *in natura* podem ser explicadas pela dependência destas em relação à variedade, tipo de solo, adubação, tempo de cultivo e época de colheita (CARVALHO et al., 1982; OLIVEIRA et al., 2002).

### **3.2 Otimização do processo de desidratação osmótica**

Os resultados experimentais obtidos para os parâmetros dependentes: perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), do planejamento experimental do processo de desidratação osmótica de fatias de batata-doce, encontram-se na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4.** Resultados do delineamento experimental para a desidratação osmótica de batata-doce.

Ensaio	Variáveis Independentes				Variáveis Dependentes			
	Glicerol/CaCl <sub>2</sub>	XG	Temperatura	Tempo	PP	PA	GS	RP
1	30/1,0 (-1)	32,5 (-1)	32 (-1)	60 (-1)	29,89	28,92	-0,97	-29,81
2	50/2,0 (+1)	32,5 (-1)	32 (-1)	60 (-1)	32,13	31,60	-0,52	-60,77
3	30/1,0 (-1)	57,5 (+1)	32 (-1)	60 (-1)	44,56	45,30	0,61	74,26
4	50/2,0 (+1)	57,5 (+1)	32 (-1)	60 (-1)	32,57	32,67	1,46	22,38
5	30/1,0 (-1)	32,5 (-1)	48 (+1)	60 (-1)	26,22	23,40	-2,07	-11,30
6	50/2,0 (+1)	32,5 (-1)	48 (+1)	60 (-1)	26,68	26,14	-0,69	-37,88
7	30/1,0 (-1)	57,5 (+1)	48 (+1)	60 (-1)	33,21	34,37	1,39	24,73
8	50/2,0 (+1)	57,5 (+1)	48 (+1)	60 (-1)	33,18	35,25	1,22	28,89
9	30/1,0 (-1)	32,5 (-1)	32 (-1)	120 (+1)	32,53	32,66	-0,30	-108,87
10	50/2,0 (+1)	32,5 (-1)	32 (-1)	120 (+1)	32,60	34,21	1,60	21,38
11	30/1,0 (-1)	57,5 (+1)	32 (-1)	120 (+1)	37,80	39,93	1,96	20,37
12	50/2,0 (+1)	57,5 (+1)	32 (-1)	120 (+1)	35,09	38,83	4,00	9,71
13	30/1,0 (-1)	32,5 (-1)	48 (+1)	120 (+1)	26,49	25,88	0,78	33,18
14	50/2,0 (+1)	32,5 (-1)	48 (+1)	120 (+1)	30,11	27,07	-2,67	-10,14
15	30/1,0 (-1)	57,5 (+1)	48 (+1)	120 (+1)	33,70	35,83	3,36	10,66
16	50/2,0 (+1)	57,5 (+1)	48 (+1)	120 (+1)	38,97	37,85	-0,67	-56,49
17	20/0,5 (-2)	45 (0)	40 (0)	90 (0)	30,65	30,84	0,19	162,32
18	60/2,5 (+2)	45 (0)	40 (0)	90 (0)	32,93	35,09	2,39	14,68
19	40/1,5 (0)	20 (-2)	40 (0)	90 (0)	26,72	27,95	1,38	20,25
20	40/1,5 (0)	70 (+2)	40 (0)	90 (0)	38,13	43,69	5,55	7,87
21	40/1,5 (0)	45 (0)	25 (-2)	90 (0)	31,91	30,18	-1,80	-16,77
22	40/1,5 (0)	45 (0)	55 (+2)	90 (0)	32,13	33,05	1,34	24,66
23	40/1,5 (0)	45 (0)	40 (0)	30 (-2)	22,93	25,83	2,90	8,91
24	40/1,5 (0)	45 (0)	40 (0)	150 (+2)	29,73	35,61	5,88	6,06
25	40/1,5 (0)	45 (0)	40 (0)	90 (0)	34,94	35,33	1,21	29,20
26	40/1,5 (0)	45 (0)	40 (0)	90 (0)	37,06	35,95	1,07	33,60
27	40/1,5 (0)	45 (0)	40 (0)	90 (0)	35,56	35,37	1,26	28,07
28	40/1,5 (0)	45 (0)	40 (0)	90 (0)	32,18	35,06	1,24	28,27

\* Os números entre parêntesis são os valores codificados das variáveis independentes.

Onde: XG é o xarope de glicose; PP é a perda de peso; PA é a perda de água; GS é o ganho de sólidos e RP é a relação performance.

### 3.3 Perda de peso (PP)

Os efeitos das variáveis independentes sobre a perda de peso das fatias de batata-doce desidratadas estão apresentados na Tabela 5.5. Em negrito, estão os efeitos dos fatores que são significativos: média, xarope de glicose (L) e tempo

(Q), admitindo um intervalo de confiança de 95%, ou seja, um nível de significância de 5% para a análise através do erro padrão (MS Residual). Os fatores temperatura (L) e a interação GLI/CaCl<sub>2</sub>\*temperatura foram considerados significativos devido ao p ser muito próximo de 0,05.

**Tabela 5.5** Efeitos das variáveis independentes sobre a perda de peso de fatias de batata-doce desidratadas ( $R^2 = 0,80$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>34,8050</b>	<b>1,4673</b>	<b>0,0000</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L)	0,1241	0,1981	0,9190
GLI/CaCl <sub>2</sub> (Q)	-0,7685	0,1981	0,5323
<b>XG (L)</b>	<b>6,2708</b>	<b>0,1981</b>	<b>0,0001</b>
XG (Q)	-0,4510	0,1981	0,7126
<b>TEMP (L)</b>	<b>-2,3475</b>	<b>0,1981</b>	<b>0,0718</b>
TEMP (Q)	-0,6535	0,1981	0,5946
TEMPO (L)	1,8708	0,1981	0,1424
<b>TEMPO (Q)</b>	<b>-3,4985</b>	<b>0,1981</b>	<b>0,0119</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x XG (L)	-1,9812	1,4673	0,1999
<b>GLI/CaCl<sub>2</sub> (L) x TEMP (L)</b>	<b>2,7137</b>	<b>1,4673</b>	<b>0,0872</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMPO (L)	1,9462	1,4673	0,2075
XG (L) x TEMP (L)	0,8362	1,4673	0,5784
XG (L) x TEMPO (L)	-0,5962	1,4673	0,6911
TEMP (L) x TEMPO (L)	1,3887	1,4673	0,3611

GLI/CaCl<sub>2</sub> = glicerol/ CaCl<sub>2</sub> ; XG = xarope de glicose; TEMP = temperatura.

L = efeito linear e Q = efeito quadrático.

O efeito estimado de uma variável indica o quanto esta exerce influência sobre a resposta. Desta forma, quanto maior for o seu valor, maior será a sua influência sobre a resposta. Um efeito positivo sobre a resposta indica que, ao

passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, o valor da resposta aumenta. No caso do efeito ser negativo, indicará uma diminuição da resposta.

O parâmetro que exerceu maior influência foi a concentração de xarope de glicose (L), seguida do tempo (Q), interação glicerol/CaCl<sub>2</sub>\*temperatura e da temperatura (L). A média da perda de peso ficou em torno de 34,80 ±1,46 %. GENINA-SOUTO et al. (2001), no estudo da desidratação osmótica de cubos de batata-doce de 3,5 cm, obtiveram 20% em média de redução de peso, utilizando concentração de sacarose de 30 e 70%, com temperatura de 26 e 50°C.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se por análise de variância (ANOVA), a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 5.6.

BARROS NETO et al. (2003) sugeriram que para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também útil para fins preditivos, o valor de F calculado para a regressão deve ser no mínimo quatro vezes o valor de F tabelado. Essa condição é amplamente satisfeita nesse estudo.

**Tabela 5.6.** Análise de variância (ANOVA) para a perda de peso de fatias de batata-doce desidratada.

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b> <b>(0,05;3;24)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regressão</b>	368,0820	3	122,694	16,27	3,01	0,67
<b>Resíduo</b>	180,9362	24	7,5390			
<b>Total</b>	549,0182	27				

Através da análise de variância, verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa (F calculado 5,4 vezes superior ao F tabelado) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) obtido para o modelo ajustado foi de 0,67, indicando que o modelo explica 67% da variação dos dados observados.

O modelo codificado proposto para representar a perda de peso, na desidratação osmótica de fatias de batata-doce, é apresentado pela Equação 5:

$$PP = 33,8684 + 3,1352 \cdot XG - 1,1737 \cdot TEMP - 1,5931 \cdot TEMPO^2 + 1,3568 \cdot GLI/CaCl_2 \cdot TEMP \quad (5)$$

Onde: PP é a perda de peso

XG é o conteúdo de xarope de glicose

TEMP é a temperatura

GLI/CaCl<sub>2</sub> é o conteúdo de glicerol/CaCl<sub>2</sub>

As superfícies de resposta e as respectivas curvas de contorno geradas pelo modelo para a perda de peso encontram-se representadas nas Figura 5.1 a Figura 5.6.

A concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> não influenciou a perda de peso como pode ser verificado nas Figura 5.1 e Figura 5.3. As faixas com as maiores perdas de peso (fixado em aproximadamente 37%) são alcançadas com concentrações de xarope de glicose superiores a 57,5% (Figura 5.1, Figura 5.4 e Figura 5.5). Na interação significativa entre temperatura e glicerol/CaCl<sub>2</sub> (Figura 5.2), a faixa de maior perda de peso ocorre quando a concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> é menor que 40/1,5 e a temperatura menor que 40°C ou a concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> for maior que 50/2 e a temperatura maior que 48°C. O tempo ideal para se ter a maior perda de peso está compreendido entre 60 e 120 minutos (Figura 5.3, Figura 5.5 e Figura 5.6). A temperatura não influenciou a perda de peso na Figura 5.4.

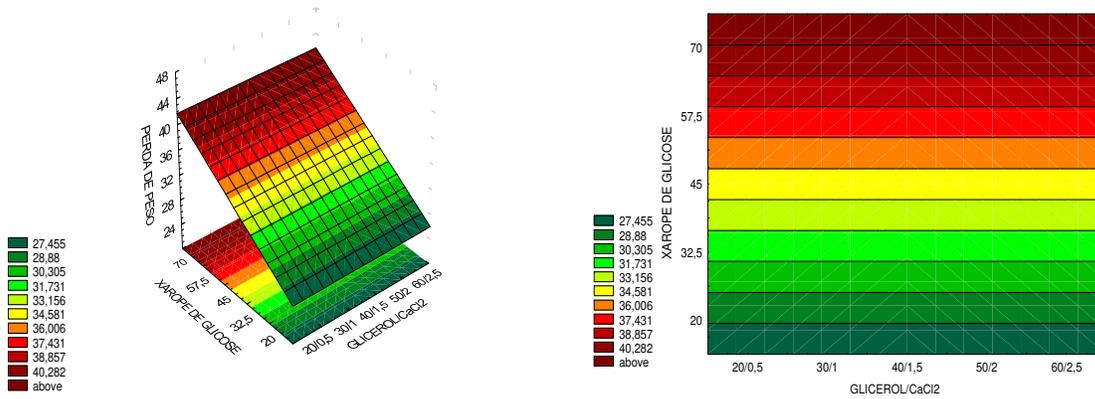


Figura 5.1. Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do xarope de glicose e glicerol/CaCl<sub>2</sub>.

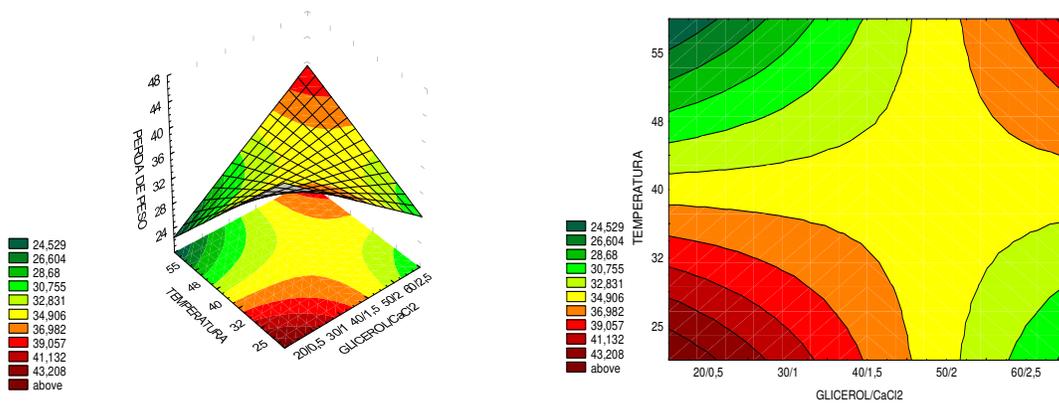
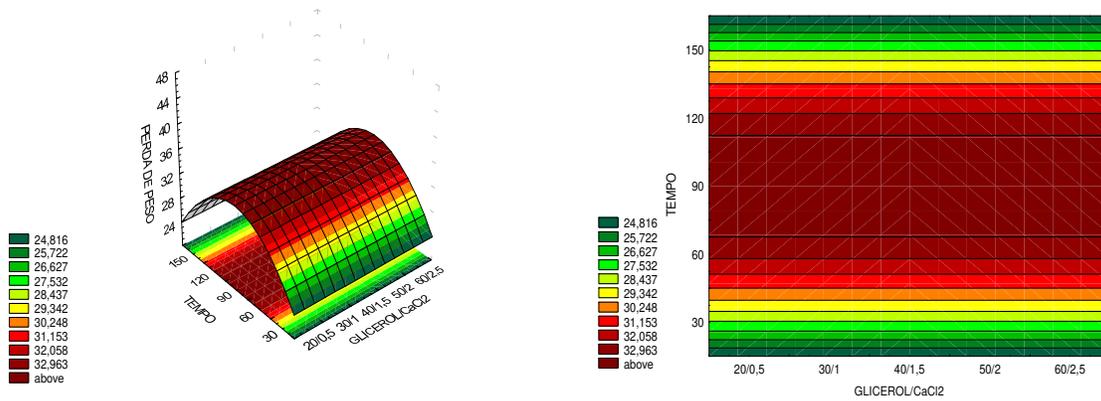
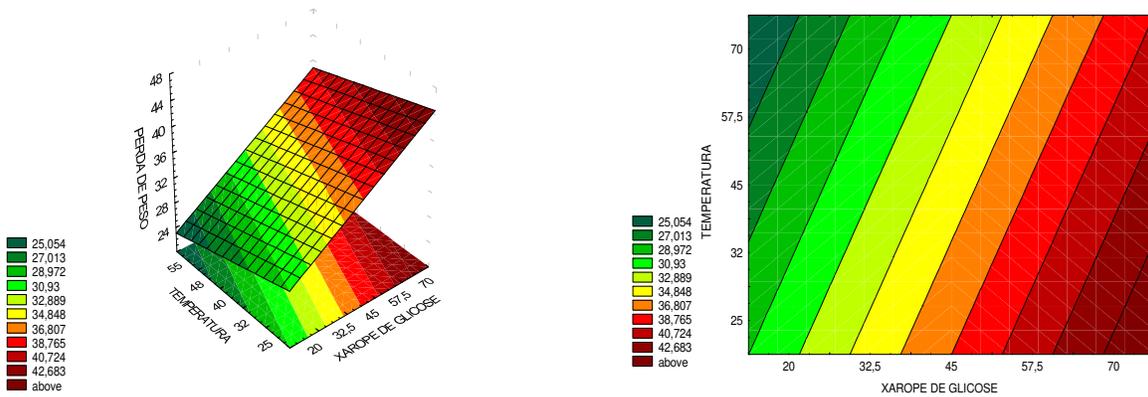


Figura 5.2. Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função da temperatura e glicerol/CaCl<sub>2</sub>.



**Figura 5.3** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do tempo e glicerol/CaCl<sub>2</sub>.



**Figura 5.4.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função da temperatura e xarope de glicose.

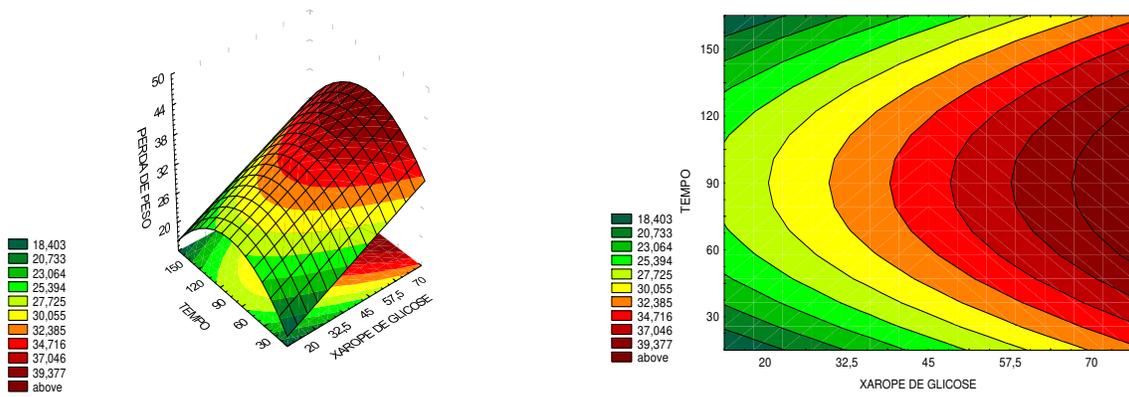


Figura 5.5. Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do tempo e xarope de glicose.

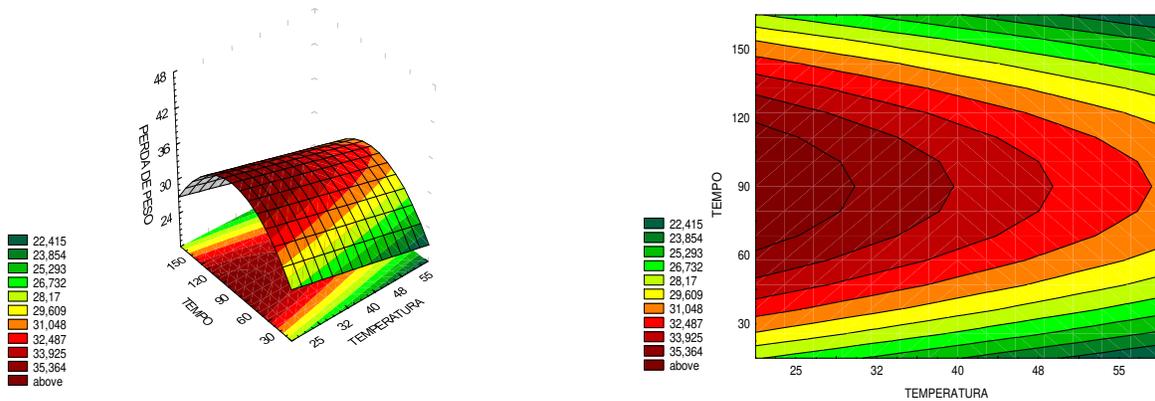


Figura 5.6. Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de peso em função do tempo e temperatura.

### 3.4 Perda de água (PA)

Os efeitos dos parâmetros lineares na perda de água de fatias de batata-doce desidratadas são apresentados na Tabela 5.7, em que os valores em negrito são significativos a um nível de significância de 5%. O fator tempo (Q) foi considerado significativo pelo autor considerando-se o bom senso do processo e o valor de p (0,09) estar próximo dos valores significativos.

**Tabela 5.7.** Efeitos das variáveis independentes sobre a perda de água de fatias de batata-doce desidratadas.  $R^2=0,83$ .

<b>Fator</b>	<b>Efeito</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>35,4275</b>	<b>1,5376</b>	<b>0,0000</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L)	0,4858	1,2554	0,7050
GLI/CaCl <sub>2</sub> (Q)	-1,1181	1,2554	0,3893
<b>XG (L)</b>	<b>8,4691</b>	<b>1,2554</b>	<b>0,0000</b>
XG (Q)	0,3093	1,2554	0,8092
<b>TEMP (L)</b>	<b>-2,7158</b>	<b>1,2554</b>	<b>0,0497</b>
TEMP (Q)	-1,7931	1,2554	0,1768
<b>TEMPO (L)</b>	<b>2,8475</b>	<b>1,2554</b>	<b>0,0410</b>
<b>TEMPO (Q)</b>	<b>-2,2406</b>	<b>1,2554</b>	<b>0,0976</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x XG (L)	-2,3737	1,5376	0,1466
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMP (L)	2,0412	1,5376	0,2071
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMPO (L)	1,2487	1,5376	0,4313
XG (L) x TEMP (L)	1,4337	1,5376	0,3681
XG (L) x TEMPO (L)	-0,6137	1,5376	0,6962
TEMP (L) x TEMPO (L)	0,0412	1,5376	0,9790

GLI/CaCl<sub>2</sub> = glicerol/ CaCl<sub>2</sub> ; XG = xarope de glicose; TEMP = temperatura.

O parâmetro que exerceu maior influência na PA foi a concentração de xarope de glicose (L), seguida do tempo (L), temperatura (L) e tempo (Q). O valor médio da perda de água foi ao redor de  $35,42 \pm 1,53$  %. UDDIN et al. (2004) observaram que a concentração da solução de sacarose, seguida da temperatura (L) foram os fatores mais significantes durante a perda de água na desidratação osmótica de cenoura.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se, por análise de variância (ANOVA), a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 5.8.

**Tabela 5.8.** Análise de variância (ANOVA) para a perda de água de fatias de batata-doce desidratadas.

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b> (0,05;4;23)	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regressão</b>	545,6545	4	136,4136	15,1570	3,01	0,72
<b>Resíduo</b>	207,0020	23	9,0000			
<b>Total</b>	752,6565	27				

Através da análise de variância, verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa (F calculado 5,05 vezes superior ao F tabelado) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) obtido para o modelo ajustado foi de 0,72, indicando que o modelo explica 72% da variação dos dados observados.

O modelo codificado proposto para representar a perda de água na desidratação osmótica de fatias de batata-doce é apresentado pela Equação 6:

$$PA = 34,1265 + 4,2345 * XG - 1,3579 * TEMP + 1,4237 * TEMPO - 0,9034 * TEMPO^2$$

(6)

Onde: PA é a perda de água

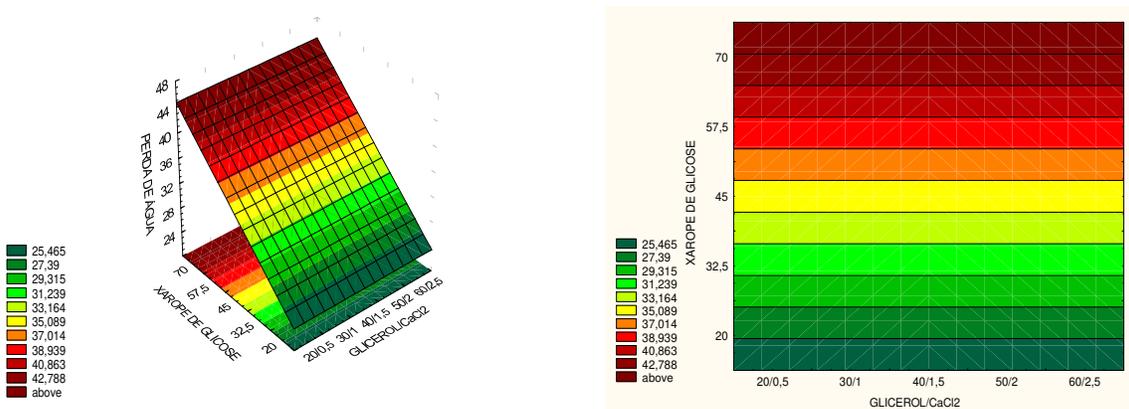
XG é o xarope de glicose

TEMP é a temperatura

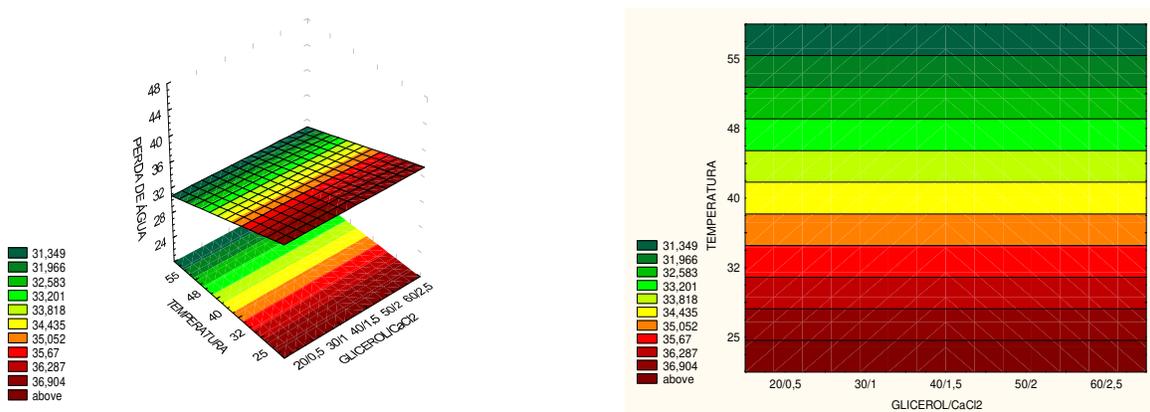
As superfícies de resposta e as respectivas curvas de contorno, geradas pelo modelo para a perda de água, encontram-se representadas nas Figura 5.7 a Figura 5.12.

A concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> não influenciou a perda de água como pode ser verificado nas Figura 5.7, Figura 5.8 e Figura 5.9. Os maiores valores para perdas de água (fixado em aproximadamente 37%) são alcançadas com concentrações de xarope de glicose superior a 57,5% (Figura 5.7, Figura 5.10 e

Figura 5.11). Na Figura 5.8, a faixa de maior perda de água encontra-se quando a temperatura é inferior a 32°C. O tempo ideal para se ter a maior perda de água está compreendida entre 90 e 150 minutos (Figura 5.9, Figura 5.11 e Figura 5.12). A temperatura não influenciou a perda de água na Figura 5.10.



**Figura 5.7.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função do xarope de glicose e glicerol/CaCl<sub>2</sub>.



**Figura 5.8.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função da temperatura e glicerol/CaCl<sub>2</sub>.

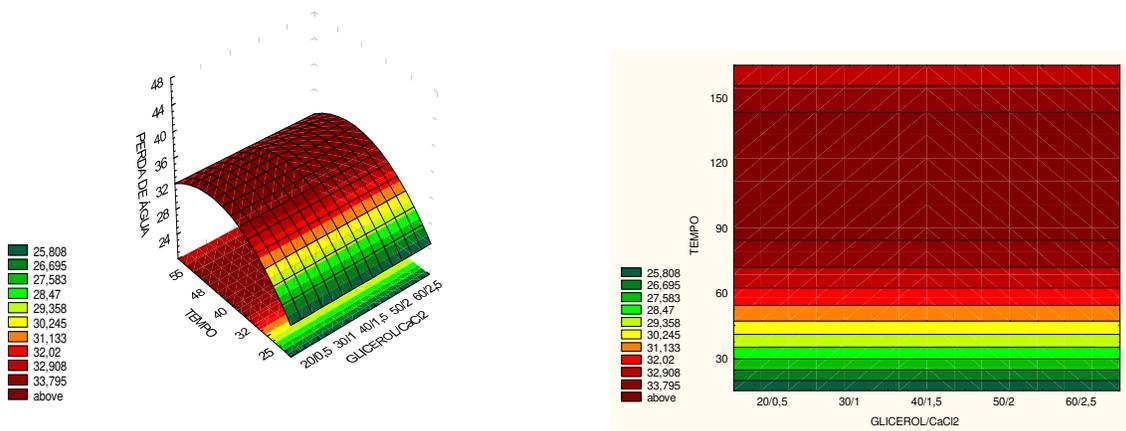


Figura 5.9 Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função do tempo e glicerol/CaCl<sub>2</sub>.

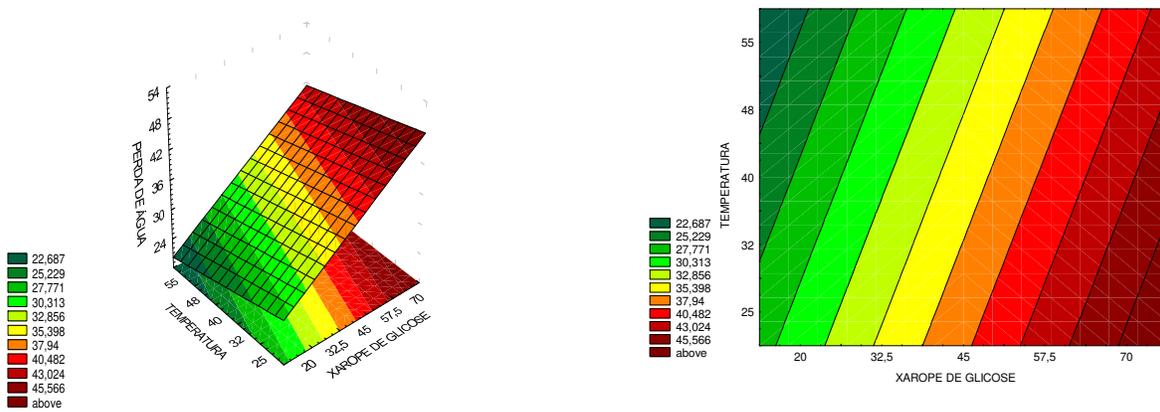
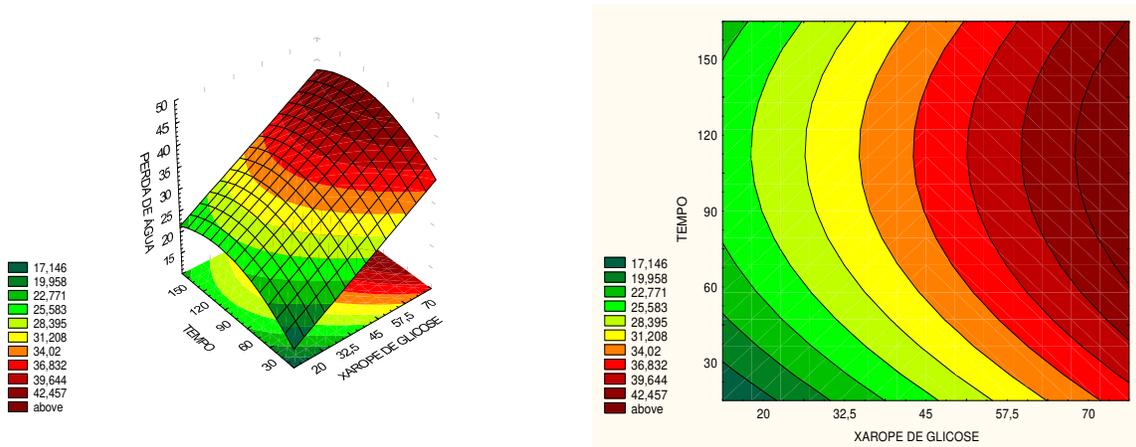
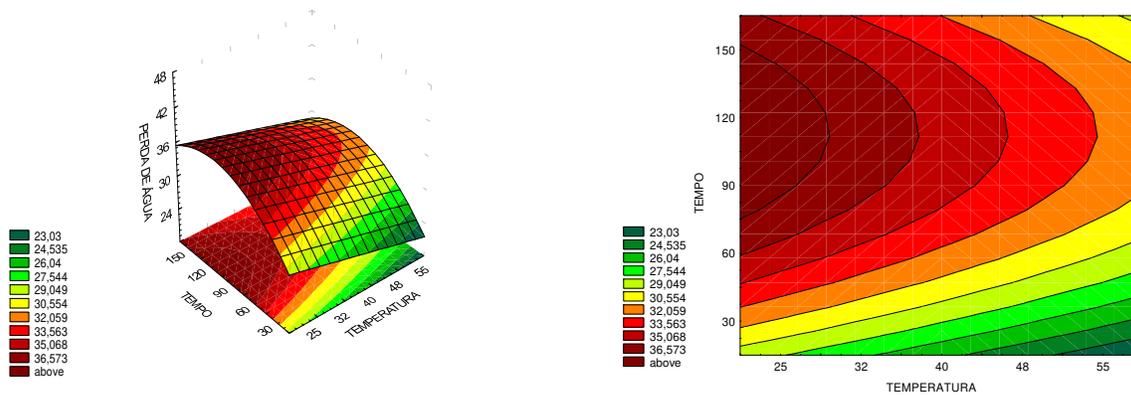


Figura 5.10. Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função da temperatura e xarope de glicose.



**Figura 5.11.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da variação da perda de água em função do tempo e xarope de glicose.



**Figura 5.12.** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da perda de água em função do tempo e temperatura.

### 3.5 Ganho de sólidos (GS)

Os efeitos dos valores lineares, quadráticos e interações no ganho de sólidos de fatias de batata-doce desidratadas são apresentados na Tabela 5.9, onde os valores em **negrito** são significativos a um nível de significância de 5%. O fator temperatura (Q) e tempo (L) foram considerados significativos pelo autor através

do bom senso e pelo valor de p estar muito próximo dos valores considerados significativos.

**Tabela 5.9.** Efeitos das variáveis independentes sobre o ganho de sólidos de fatias de batata-doce desidratadas ( $R^2=0,68$ ).

<b>Fator</b>	<b>Efeito</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>p</b>
<b>Média</b>	<b>1,1950</b>	<b>0,8179</b>	<b>0,1677</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L)	0,2808	0,6678	0,6809
GLI/CaCl <sub>2</sub> (Q)	-0,5185	0,6678	0,4513
<b>XG (L)</b>	<b>2,2091</b>	<b>0,6678</b>	<b>0,0056</b>
XG (Q)	0,5689	0,6678	0,4096
TEMP (L)	-0,0758	0,6678	0,9113
<b>TEMP (Q)</b>	<b>-1,2785</b>	<b>0,6678</b>	<b>0,0778</b>
<b>TEMPO (L)</b>	<b>1,1325</b>	<b>0,6678</b>	<b>0,1137</b>
<b>TEMPO (Q)</b>	<b>1,0314</b>	<b>0,6678</b>	<b>0,1464</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x XG (L)	-0,1987	0,8179	0,8118
<b>GLI/CaCl<sub>2</sub> (L) x TEMP (L)</b>	<b>-1,4387</b>	<b>0,8179</b>	<b>0,1020</b>
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMPO (L)	-0,7562	0,8179	0,3720
XG (L) x TEMP (L)	0,2162	0,8179	0,7956
XG (L) x TEMPO (L)	0,0387	0,8179	0,9629
TEMP (L) x TEMPO (L)	-0,7162	0,8179	0,3970

GLI/CaCl<sub>2</sub> = GLICEROL/ CaCl<sub>2</sub> ; XG = XAROPE DE GLICOSE; TEMP = TEMPERATURA

O parâmetro que exerceu maior influência foi a concentração de xarope de glicose (L), seguida da interação glicerol/CaCl<sub>2</sub>\* temperatura, temperatura (Q) e tempo (L e Q). A média do ganho de sólidos foi ao redor de  $1,19 \pm 0,81$  %. Resultado semelhante foi encontrado por GENINA-SOUTO et al. (2001), em estudo sobre o efeito das temperaturas e das soluções de sacarose em diferentes concentrações no processo de desidratação osmótica de cubos de batata-doce,

ou seja, estes pesquisadores perceberam que quanto maior a concentração da solução, maior era o ganho de sólidos.

Eliminando os parâmetros não significativos, foi verificado por análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 5.10.

**Tabela 5.10.** Análise de variância (ANOVA) para o ganho de sólidos de fatias de batata-doce desidratadas.

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>F<sub>tabelado</sub></b> <b>(0,05;5;22)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regressão</b>	66,8063	5	13,3612	6,5728	2,66	0,59
<b>Resíduo</b>	44,7237	22	2,0328			
<b>Total</b>	111,5300	27				

O modelo apresentou regressão não significativa (F calculado não é superior a 3 vezes o F tabelado) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido para o modelo ajustado foi de 0,59, indicando que o modelo explica somente 59% da variação dos dados observados. Como o modelo não é significativo, não se gera as superfícies e as curvas de contorno.

### 3.6 Relação de *performance* (RP)

Os efeitos das variáveis independentes sobre a relação de *performance* da desidratação de fatias de batata-doce estão apresentados na Tabela 5.11. Ao nível de significância de 5%, nenhum fator foi considerado significativo. Com isso, não foi possível o desenvolvimento de um modelo matemático preditivo para a relação de *performance*.

**Tabela 5.11.** Efeitos das variáveis independentes sobre a relação performance de fatias de batata-doce desidratadas.  $R^2=0,59$ .

Fator	Efeito	Erro padrão	p
Média	29,7855	21,6544	0,1922
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L)	-32,6177	17,6808	0,0879
GLI/CaCl <sub>2</sub> (Q)	18,4051	17,6808	0,3168
XG (L)	26,1636	17,6808	0,1627
XG (Q)	-18,8129	17,6808	0,3066
TEMP (L)	9,6546	17,6808	0,5942
TEMP (Q)	-23,8699	17,6808	0,2000
TEMPO (L)	-8,0318	17,6808	0,6571
TEMPO (Q)	-22,1036	17,6808	0,2332
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x XG (L)	-19,3669	21,6544	0,3873
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMP (L)	-21,2037	21,6544	0,3453
GLI/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMPO (L)	14,2952	21,6544	0,5206
XG (L) x TEMP (L)	-33,8562	21,6544	0,1419
XG (L) x TEMPO (L)	-30,16,69	21,6544	0,1869
TEMP (L) x TEMPO (L)	4,5302	21,6544	0,8375

GLI/CaCl<sub>2</sub> = GLICEROL/ CaCl<sub>2</sub> ; XG = XAROPE DE GLICOSE; TEMP = TEMPERATURA.

#### 4. Conclusão

A maior perda de peso e de água no processo de desidratação osmótica de fatias de batata-doce, foi observada quando a concentração de xarope de glicose foi superior a 57,5% e o tempo de processo compreendido entre 90 e 120 minutos. No entanto, a concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> e a temperatura não influenciaram estes parâmetros. O ganho de sólidos e a relação de performance não apresentaram modelos significativos.

Em todos os ensaios realizados, observou-se que a PA variou de 25,83 a 39,93% resultados superiores à incorporação de sólidos (-2,07 a 5,88), o que está de acordo com os resultados de diversos autores. Para um processo de

desidratação osmótica, é interessante obter condições de maior perda de água com a menor incorporação de sólidos no produto para que não haja descaracterização do produto pela alta incorporação.

## 5. Referências bibliográficas

AACC (AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. v.1. 9<sup>th</sup> ed., 1995.

ANDREOTTI, R.; MATALONI, G. **La preparazione industriale dei canditi**. Parma: Stazione Sperimentale per l'industria delle conserve alimentari in Parma. 90p. 1990.

ANTONIO, G.C. **Avaliação do efeito dos pré-tratamentos de desidratação osmótica e secagem HTST na obtenção de snacks de batata-doce (*Ipomoea Batatas Lam*)**. 2006. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. Washington, 1997.

BARBOSA JUNIOR, J.L. **Influência da temperatura e da concentração na desidratação osmótica de abóbora (*Cucúrbita máxima*) e cenoura (*Daucus carota L.*) utilizando metodologia de superfície de resposta**. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BARROS NETO, B. De, SCARMÍNIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, Editora da UNICAMP, 2<sup>a</sup> edição, 2003.

BOHUON, P.; RAOULT-WACK, A.L. Procédé de deshydratation osmotique. In: Le MESTE, M.; SIMATOS, D.; LORIENT, D. **L'eau dans les aliments**. Paris: Lavoisier Tec et Doc, 2002. p.405-428.

BOUWKAMP, J.C. **Sweet Potato Products: A Natural Resource for the Tropics**. Florida: Library of Congress cataloging, Parte II: Utilization: p.137-259. 1985.

CARVALHO, M.da P.M.; MOURA, L.L.; STURN, A.P. **Influência de adubação na produção e na proteína de batata-doce**. EMBRAPA. Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar – CTTA. Nº2, 013 pp. Março 1982.

CLARK, C.A.; MOYER, J.W. **Compendium of sweet potato diseases**. Saint Paul: APS Press, 74p. 1988.

ERTEKIN, F.K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas. II. Influence of osmosis on drying behaviour and product quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, n.20, p.87-104, 1996.

FIRETTI, R.; MONTES, S.M.N.M. **A cultura da batata-doce na região de Presidente Prudente**. Disponível em: <[http://www.aptaregional.sp.gov.br/artigo.php?id\\_artigo=221](http://www.aptaregional.sp.gov.br/artigo.php?id_artigo=221)>

Acesso em 20 de junho de 2008.

GENINA-SOUTO, P.; BARRERA-CORTES, J.; GUTIERREZ-LOPEZ, G.; NIETO, E.A. Temperature and concentration effects of osmotic media on profiles of sweet potato cubes. **Drying Technology**, v.19, n.3-4, p.547-558, 2001.

HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Science des Aliments**, n.10, p. 831-848, 1990.

KOHYAMA, K.; NISHINARI, K. Cellulose derivatives effects on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. **Journal of Food Science**, v.57, n.1, p.128-131, 1992.

LENART, A.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmotic process. **Journal of Food Technology**, v.19, p.45-63, 1984.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruit and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p.391-413, 1996.

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

MAIA, G.A., ORIÁ, H.F., GUEDES, Z. B. L., FIGUEIREDO, R. W., MAIA, M. B. S. Estudo do valor nutritivo de duas variedades de batata-doce (*Ipomea batatas*, Poir) cozida e frita. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, 18 (1): pág. 73-76 - Junho, 1987.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A. SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. **Cultivo da batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam)**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 8p. (EMBRAPA – CNPQ. Instruções Técnicas, 7), 1984.

NEPA (Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos** (TACO). Campinas: Gráfica e editora Flamboyant Ltda. 2006. Versão 2.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. v.1. 1985. 533p.

OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SEDIYAMA, T.; FINGER, F. L.; CRUZ, C. D. Variabilidade genética em batata-doce com base em marcadores isoenzimáticos. **Horticultura Brasileira**, v.20, n. 4, p. 576-582, 2002.

OIRSCHOT, Q.E. van; REES, D.; AKED, J. Sensory characteristics of five sweet potato cultivars and their changes during storage under tropical conditions. **Food Quality and Preference**, v.14, p.673-680, 2003.

PAM, Produção Agrícola Municipal - culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, v.30, 2003, 93p.

QUERIDO, A. F. **Estudo da influência de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 193 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RAOULT-WACK, A.L.; GUILBERT, S.; Le MAGUER, M.; RIOS, G. Simultaneous water and solute transport in shrinking media – Part 1: Application to dewatering and

impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). **Drying Technology**, n.9, p. 589-612, 1991.

RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v.5, n.8, p.255-260, 1994.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos**. 1ª edição, Casa do Pão Editora, Campinas, SP, 326p., 2005.

RUIZ, F.S. **Estudo das variáveis envolvidas no processo de obtenção de farinhas pré-gelatinizadas de batata-doce, por desidratação com rolos aquecidos (Double Drum-Dryer)**. 1984. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamento sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p. 536-545, 2005.

SILVA, J.B.C; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. **Cultura da batata-doce**. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/batatadoce/index.htm>>. Acesso em 23 de junho, 2008.

TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P.; CHIRALT, A. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwifruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Ottawa, v.3, p. 191-199, 2001.

TONON, R.V. Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose. 2005. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TOREZAN, G.A.P. **Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga**. 2005. 269p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TORREGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. **Food Research International**, n.26, p.59-68, 1993.

UDDIN, M.B.; AINSWORTH, P.; İBANOGLU, S. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.473-477, 2004.

UNIFESP (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO). **Tabela de Composição de Alimentos**. Disponível em: <<http://www.unifesp.br/dis/services/nutria/nutria.phpid=2875>>. Acesso em 23 de junho, 2008.

## 6. Agradecimentos

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e à FAPESP pelo recurso financeiro de Auxílio à Pesquisa.

**CAPÍTULO 6 - OTIMIZATION OF THE OSMOTIC DEHYDRATION  
PROCESS FOR SWEET POTATO (*IPOMOEA BATATAS*).**

---

FONTES, L.C.B.; RAMOS, K.K.; SIVI, T.C.; QUEIROZ, F.P.C. **Otimização do processo de desidratação osmótica de batata-doce pela avaliação da atividade de água da solução desidratante.** XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos CBCTA, realizado de 06 a 09 de outubro de 2008, Belo Horizonte, MG (Resumo Expandido e Pôster).



## CAPÍTULO 6

### OTIMIZATION OF THE OSMOTIC DEHYDRATION PROCESS FOR SWEET POTATO (*IPOMOEA BATATAS*)

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Thaís Cristina SIVI; Kazumi Kawasaki RAMOS; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### ABSTRACT

The objective of this study was to optimize the osmotic dehydration process of sweet potato using a central compound rotational design with 4 variables (glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration; glucose syrup concentration; temperature and time). The responses evaluated in the process were: weight reduction, water loss and solids gain, aiming to maximize the loss of water with a minimal solids gain. On average, the loss in water was 44 times greater than the solids incorporation, in all the trials analyzed. The optimum process conditions for the osmotic dehydration of sweet potato were: (i) glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration of 30/1.0; (ii) glucose syrup concentration of 63.75%; (iii) temperature of 48°C and (iv) time of 120 minutes.

**Keywords:** sweet potato, osmotic dehydration, experimental design.



## **1. Introduction**

Osmotic dehydration is one of the oldest food preservation techniques, consisting of the partial removal of water by immersing the food in hypertonic solutions of one or more solutes, giving rise to two simultaneous, opposing flows: (i) exit of water from the food to the hypertonic solution and (ii) migration of solutes into the food. There is also a third flow, almost irrelevant, which consists of a loss of some of the natural food solids, such as sugars, organic acids, minerals and vitamins, amongst other nutrients. Although this flow is insignificant as compared to the other two, it can be important with respect to the organoleptic and nutritional characteristics of the final product (RAOULT-WACK, 1994). The driving force required to remove the water from the food is acquired from the concentration gradient between the osmotic solution and the intracellular fluid, where the cell wall of the vegetable acts as a semi-permeable membrane (ERTEKIN; CAKALOZ, 1996).

During mass transfer, changes occur in the macroscopic properties of the foods at levels determined by the process conditions and food characteristics. These changes are directly related to the color, appearance and texture of the final product (TALENS et al., 2001). When the process is carried out under typical conditions, such as temperatures in the range from 30 to 50°C, atmospheric pressure, and the product reduced in size, there will be greater mass transfer during the first two hours. Subsequently the rate of water removal starts to decrease until it ceases all together, whilst the gain in solutes continues increasing constantly, resulting in a solids rich product. In the dehydration process, this solids gain is undesirable, since it can confer changes on the sensory properties of the product. Nevertheless, in some cases such solute incorporation is considered desirable, in the so-called impregnation processes, where the presence of the solute confers desirable properties (RAOULT-WACK, 1994).

Osmotic dehydration promotes a great removal of water (40 to 70% of the initial product weight), thus decreasing the mass of the product, guaranteeing

economy and practicality in its storage and transport. A limited, controlled solids gain occurs (5 to 25% of the initial product weight) principally when using highly concentrated solutions (50 to 75%) (TOREZAN, 2005).

The main parameters influencing mass transfer in the osmotic dehydration process are: (i) chemical composition and concentration of the osmotic solution; (ii) temperature and (iii) immersion time.

The type of solute used strongly affects the kinetics of water loss, solids gain and equilibrium moisture content. An increase in the molecular mass of the solutes favors the loss of water, with low solids incorporation, favoring weight reduction and leading to a material that is more dehydrated than impregnated. A greater penetration of low molecular mass solutes (glucose, fructose and sorbitol) into the cells, favors the phenomenon of impregnation over dehydration (HENG et al., 1990). Glucose syrup has a lower molecular mass than sucrose and thus exerts a greater osmotic pressure, penetrating vegetable tissue with greater ease, inhibiting microbial attack and fermentative processes (ANDREOTTI; MATALONI, 1990). The use of 0.04M calcium chloride as a solute in the osmotic dehydration of star fruit increased the process efficiency, and the fruits showed greater sensory acceptance (SHIGEMATSU et al., 2005).

In osmotic dehydration, the driving force for mass transfer is the difference in solute concentration between the product and the solution, and thus more concentrated solutions favor greater water loss than solids gain (LENART; FLINK, 1984). Studies carried out by RAOULT-WACK et al. (1991) and LENART (1996), showed that initial concentration differences below 40% lead to a predominance of the phenomenon of solute incorporation, whereas initial differences above this value lead to greater water removal rates, that is, greater dehydration.

Temperature is a very important factor in the osmotic dehydration process and is related to the rupture of vegetable tissues and membranes. For this reason, the effect of this factor on the kinetics of the osmotic dehydration process is one of

the most studied aspects (TONON, 2005). The rate of water loss increases with increase in temperature. The rise in temperature leads to an increment in the water transport properties inside the food and mass transfer at the food/solution interface, due to the decrease in viscosity (BOHUON; RAOULT-WACK, 2002). However, at process temperatures above 45°C, enzymatic browning reactions and the deterioration of the aroma compounds start to occur; and at temperatures of 60°C the cell tissue undergoes alteration, losing its selectivity and favoring impregnation by solutes. Thus the best process temperature depends on the material to be dehydrated and in general osmotic dehydration processes are carried out in the range between 20 and 40°C (TORREGIANI, 1993).

The objective of the present work was to optimize the osmotic dehydration process of sweet potato, that is, maximize the water loss and minimize the solids gain.

## **2. Material and methods**

### **2.1 Material**

The sweet potato (*Ipomoea batatas*) of the yellow Mona Lisa variety, was acquired from a single producer at the distribution center (CEASA) in Campinas, SP, Brazil. The following were used to prepare the osmotic solution: (i) glycerol (Synth, Diadema, SP, Brazil); (ii) calcium chloride (Synth, Diadema, SP, Brazil) and (iii) glucose syrup (Corn Products, Mogi Guaçu, SP, Brazil).

### **2.2 Sample preparation**

The tubers were washed under running water to remove dirt from the field and peeled manually with a stainless steel peeler. They were then sliced into 3 mm thick slices using an EL Inox food processor (SKYMSEN model PAIE, Brazil).

### 2.3 Preparation of the osmotic solution

The following components were used to elaborate the osmotic solution: (i) glycerol; (ii) calcium chloride and (iii) glucose syrup. The glycerol/CaCl<sub>2</sub> solution and glucose syrup were prepared in a proportion of 1:5 (1 part glycerol/CaCl<sub>2</sub> to 5 part of glucose syrup) The solution was allowed to rest for about 1 hour after preparation in order to stabilize, that is, to obtain a clear solution with the absence of suspended particles.

### 2.4 Experimental design

The osmotic dehydration process for sliced sweet potato was evaluated according to a central compound rotational design with 4 independent variables ( $2^4 = 16$  trials + 8 axial points and 4 central points, giving a total of 28 trials), applying the response surface methodology in order to optimize the process (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Each variable was studied at 5 different levels, as shown in Table 6.1

**Table 6.1** Levels of the variables studied in the experimental design for the osmotic dehydration of sweet potato slices.

Independent variables	-2	-1	0	+1	+2
Glycerol (%) / CaCl <sub>2</sub> (%)	20/0.5	30/1.0	40/1.5	50/2.0	60/2.5
Glucose syrup (%)	32.5	45	57.5	70	82.5
Temperature (°C)	25	32	40	48	55
Time (min)	30	60	90	120	150

The dependent variables of the process to be evaluated were: (i) weight reduction; (ii) water loss; (iii) solids gain; (iv) performance ratio; and (v) water

activity, the latter using an Aqualab equipment (model 3 TE, series 0600 708, Braseq, Brazil).

$$\text{Weight reduction} = \text{WR} (\%) = \frac{100 \times M_i - M_f}{M_i} \quad (1)$$

$$\text{Water loss} = \text{WL} (\%) = 100 \times \frac{Q_i - Q_d}{M_i} \quad (2)$$

$$\text{Solids gain} = \text{SG} (\%) = 100 \times \frac{\text{DM}_d - \text{DM}_i}{M_i} \quad (3)$$

Where:  $M_i$  = initial sample mass (g)

$M_f$  = final sample mass (g)

$Q_i$  = Initial quantity of water in the sample (g)

$Q_d$  = Quantity of water in the dehydrated sample (g)

$\text{DM}_d$  = Dry matter in the dehydrated sample (g)

$\text{DM}_i$  = Initial sample dry matter (g)

The objective of the experimental design was to maximize the water loss and minimize the solids gain. Thus a joint analysis of the surfaces obtained with the responses analyzed was carried out in order to determine the region best attending the objectives of this study.

### 3. Results and discussion

Table 6.2 shows the experimental data for weight reduction (WR), water loss (WL) and solids gain (SG) during the osmotic dehydration process of sweet potato slices.

**Table 6.2.** Experimental design for the osmotic dehydration of sweet potato slices

Trials	Independent variables				Dependent variables		
	Glycerol/CaCl <sub>2</sub>	GS	Temperature	Time	WR	WL	SG
1	30/1.0 (-1)	45 (-1)	32 (-1)	60 (-1)	22.22	22.9	0.92
2	50/2.0 (+1)	45 (-1)	32 (-1)	60 (-1)	29.76	31.02	1.35
3	30/1.0 (-1)	70 (+1)	32 (-1)	60 (-1)	40.07	41.55	1.44
4	50/2.0 (+1)	70 (+1)	32 (-1)	60 (-1)	38.3	30.42	2.15
5	30/1.0 (-1)	45 (-1)	48 (+1)	60 (-1)	34.59	31.61	-2.39
6	50/2.0 (+1)	45 (-1)	48 (+1)	60 (-1)	36.4	34.94	-1.64
7	30/1.0 (-1)	70 (+1)	48 (+1)	60 (-1)	31.27	32.76	1.38
8	50/2.0 (+1)	70 (+1)	48 (+1)	60 (-1)	37.29	38.43	2.62
9	30/1.0 (-1)	45 (-1)	32 (-1)	120 (+1)	26.69	31.57	1.11
10	50/2.0 (+1)	45 (-1)	32 (-1)	120 (+1)	31.18	34	2.02
11	30/1.0 (-1)	70 (+1)	32 (-1)	120 (+1)	38.76	40.02	2.19
12	50/2.0 (+1)	70 (+1)	32 (-1)	120 (+1)	43.57	45.64	1.89
13	30/1.0 (-1)	45 (-1)	48 (+1)	120 (+1)	39.29	35.42	-3.65
14	50/2.0 (+1)	45 (-1)	48 (+1)	120 (+1)	40.51	37.26	-3.81
15	30/1.0 (-1)	70 (+1)	48 (+1)	120 (+1)	39.16	41.24	1.33
16	50/2.0 (+1)	70 (+1)	48 (+1)	120 (+1)	38.13	42	2.73
17	20/0.5 (-2)	57.5 (0)	40 (0)	90 (0)	36.44	36.23	-0.3
18	60/2.5 (+2)	57.5 (0)	40 (0)	90 (0)	42.02	39.72	-2.29
19	40/1.5 (0)	32.5 (-2)	40 (0)	90 (0)	35.16	31.13	-4.28
20	40/1.5 (0)	82.5 (+2)	40 (0)	90 (0)	39.3	40.25	1.15
21	40/1.5 (0)	57.5 (0)	25 (-2)	90 (0)	31.21	30.82	0.54
22	40/1.5 (0)	57.5 (0)	55 (+2)	90 (0)	35.46	38.39	2.49
23	40/1.5 (0)	57.5 (0)	40 (0)	30 (-2)	28.61	25.16	-3.8
24	40/1.5 (0)	57.5 (0)	40 (0)	150 (+2)	37.71	39.23	0.59
25	40/1.5 (0)	57.5 (0)	40 (0)	90 (0)	36.02	35.1	1.51
26	40/1.5 (0)	57.5 (0)	40 (0)	90 (0)	35.16	34.85	1.63
27	40/1.5 (0)	57.5 (0)	40 (0)	90 (0)	36.42	35.72	1.71
28	40/1.5 (0)	57.5 (0)	40 (0)	90 (0)	35.17	34.32	1.88

\* Numbers in brackets are the coded values for the independent variables, where: GS is glucose syrup; WR is weight reduction; WL is water loss and SG is solids gain.

### 3.1 Weight reduction (WR)

Table 6.3 shows the effects of the independent variables on the weight reduction of sweet potato slices submitted to osmotic dehydration. The effects of the significant factors are in bold [mean, glycerol/CaCl<sub>2</sub> (L), glucose syrup (L), temperature (L), time (L) and the glucose syrup\*temperature interaction], admitting a 95% confidence interval, that is, a significance level of 5% in the analysis of the standard error (Residual DM). The factor glycerol/CaCl<sub>2</sub> (Q) was considered significant since the value for *p* was very close to 0.05.

**Table 6.3.** Effects of the independent variables on the weight reduction of dehydrated sweet potato slices (R<sup>2</sup>=0.91).

Factor	Effect	Standard error	p
<b>Mean</b>	<b>35.6925</b>	<b>1.0314</b>	<b>0.0000</b>
<b>GLY/CaCl<sub>2</sub> (L)</b>	<b>2.8541</b>	<b>0.8422</b>	<b>0.0048</b>
<b>GLY/CaCl<sub>2</sub> (Q)</b>	<b>1.6722</b>	<b>0.8422</b>	<b>0.0685</b>
<b>GS (L)</b>	<b>4.5158</b>	<b>0.8422</b>	<b>0.0001</b>
GS (Q)	0.6722	0.8422	0.4390
<b>TEMP (L)</b>	<b>2.8825</b>	<b>0.8422</b>	<b>0.0045</b>
TEMP (Q)	-1.2752	0.8422	0.1539
<b>TIME (L)</b>	<b>3.7991</b>	<b>0.8422</b>	<b>0.0005</b>
TIME (Q)	-1.3627	0.8422	0.1296
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x GS (L)	-0.8787	1.0314	0.4096
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMP (L)	-0.8812	1.0314	0.4083
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x TIME (L)	-0.5137	1.0314	0.6267
<b>GS (L) x TEMP (L)</b>	<b>-6.9737</b>	<b>1.0314</b>	<b>0.0000</b>
GS (L) x TIME (L)	-0.2512	1.0314	0.8113
TEMP (L) x TIME (L)	0.9612	1.0314	0.3683

GLY/CaCl<sub>2</sub> = glycerol/ CaCl<sub>2</sub> ; GS = glucose syrup; TEMP = temperature

L = effect linear; Q = effect quadratic

The parameter that exerted the greatest influence was the glucose syrup\*temperature interaction, followed by glucose syrup (L), time (L), temperature (L) and glycerol/CaCl<sub>2</sub> (L) and glycerol/CaCl<sub>2</sub> (Q). The mean for weight reduction was about 35.69±1.03%, whilst ANTONIO et al. (2007), in a study on the osmotic dehydration of 0.5cm thick slices of sweet potato, obtained a mean weight

reduction of 26.98% using a 40 to 60% sucrose concentration, 0 to 10% salt concentration and a temperature varying from 30 to 50°C. Thus a higher value was obtained in the present study, a weight reduction above 50% not being recommended in an osmotic dehydration process since, with time, there is a decrease in the rate of osmosis (RAOULT-WACK et al., 1994).

After eliminating the non-significant parameters, the significance of the regression and of the residue were verified for the design under study, at a 95% confidence level, by the analysis of variance (ANOVA) using the F test, as can be seen in Table 6.4.

**Table 6.4** Analysis of variance (ANOVA) for the weight reduction of dehydrated sweet potato slices

	<b>SQ</b>	<b>DL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculated</sub></b>	<b>F<sub>tabulated</sub> (0.05;6;21)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regression</b>	529.6474	6	88.2745	19.9643	2.57	0.85
<b>Residue</b>	92.8542	21	4.4216			
<b>Total</b>	622.5016	27				

The analysis of variance showed that the model presented significant regression ( $F_{\text{calculated}}$  7.7 times higher than  $F_{\text{tabulated}}$ ) and the coefficient of determination ( $R^2$ ) obtained for the fitted model was 0.85, indicating that the model explained 85% of the variation observed in the data.

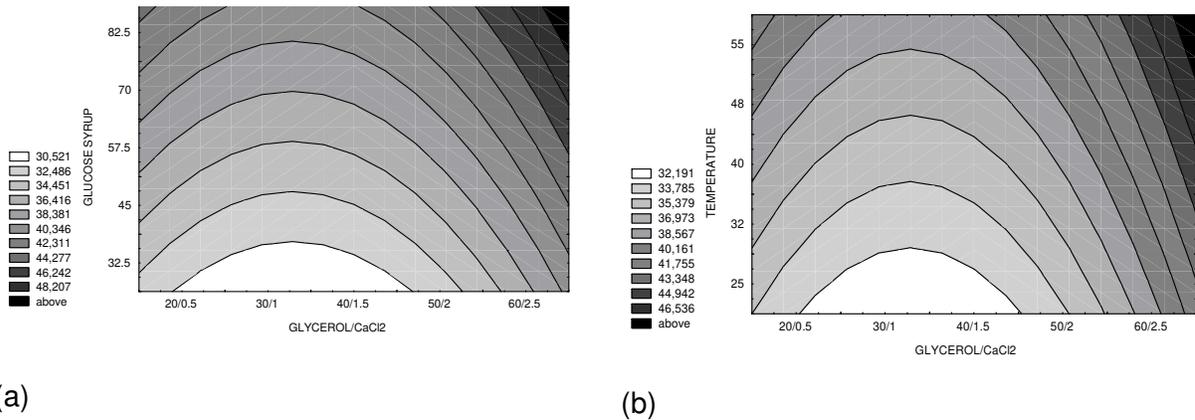
Equation 4 presents the codified model proposed to represent the weight reduction in the osmotic dehydration of sweet potato slices:

$$WR = 34.7096 + 1.4270 \cdot \text{GLY}/\text{CaCl}_2 + 0.9999 \cdot \text{GLY}/\text{CaCl}_2^2 + 2.2579 \cdot \text{GS} + 1.4412 \cdot \text{TEMP} + 1.8995 \cdot \text{TIME} - 3.4868 \cdot \text{GS} \cdot \text{TIME} \quad (4)$$

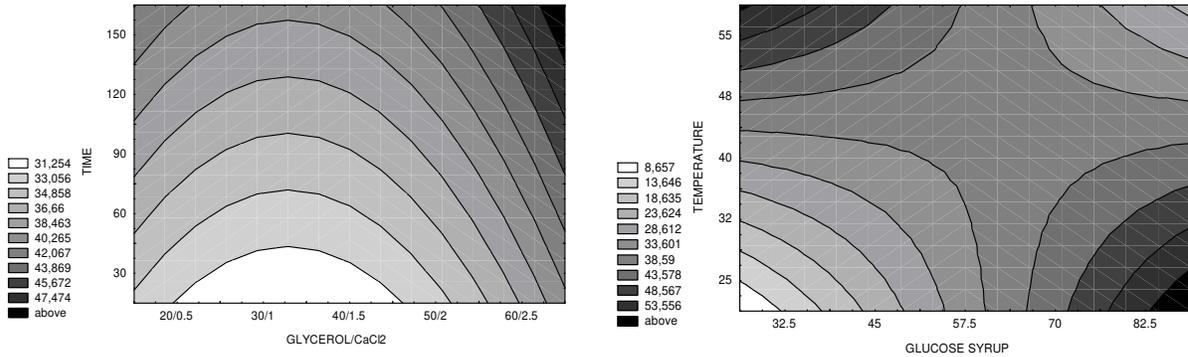
Where: WR is the weight reduction  
 GLY/CaCl<sub>2</sub> is glycerol/CaCl<sub>2</sub>  
 GS is the glucose syrup  
 TEMP is the temperature

Figure 6.1 to Figure 6.3 show the contour curves, generated by the model for weight reduction.

The greatest values for WR were obtained with: (i) glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration above 60/2.5%, as can be seen in Figure 6.1 (a and b) and Figure 6.2 (a); (ii) syrup concentration above 70% (Figure 6.1 (a), Figure 6.2 (b) and Figure 6.3 (a)); (iii) temperature above 40°C ( Figure 6.1 (b) and Figure 6.3 (b)) and (iv) time greater than 90 minutes ( Figure 6.2 (a) and Figure 6.3 (a, b)). In Figure 6.2 (b), the range for greatest weight reduction corresponds to a glucose syrup concentration above 70% and a temperature below 32°C or a glucose syrup concentration below 45% and a temperature above 48°C.



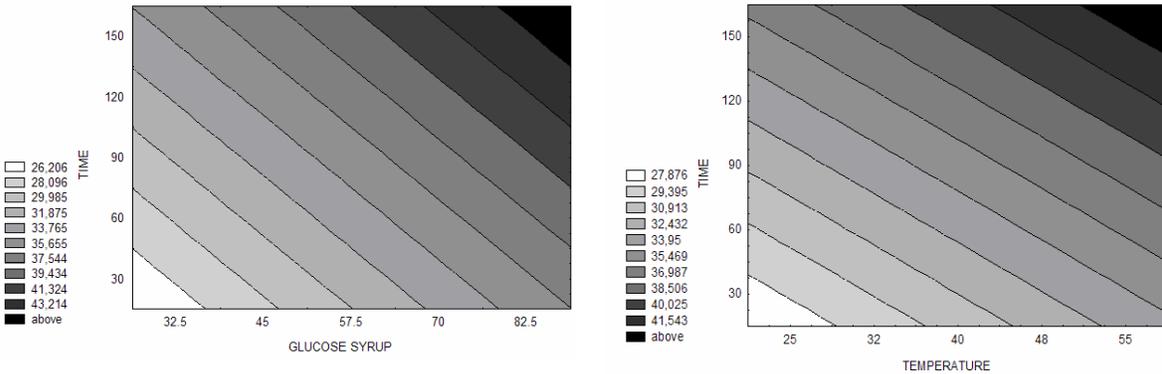
**Figure 6.1** (a) Contour curve for weight reduction as a function of glucose syrup and glycerol/CaCl<sub>2</sub>. (b) Contour curve for weight reduction as a function of temperature and glycerol/CaCl<sub>2</sub>



(a)

(b)

**Figure 6.2** (a) Contour curve for weight reduction as a function of time and glycerol/CaCl<sub>2</sub>. (b) Contour curve for weight reduction as a function of temperature and glucose syrup.



(a)

(b)

**Figure 6.3** (a) Contour curve for weight reduction as a function of time and glucose syrup. (b) Contour curve for weight reduction as a function of time and temperature.

### 3.2 Water loss (WL)

The effects of the linear values on the loss of moisture from the dehydrated sweet potato slices can be seen in Table 6.5, where the values in bold are

significant at a 5% level of significance (mean, glucose syrup, temperature and time). The glucose syrup\*temperature interaction was considered significant since the value for  $p$  was very close to 0.05.

**Table 6.5** Effects of the independent variables on the water loss of dehydrated sweet potato slices ( $R^2=0.83$ ).

Factor	Effect	Standard error	p
Mean	<b>34.9975</b>	<b>1.5141</b>	0.0000
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L)	1.9683	1.2362	0.1353
GLY/CaCl <sub>2</sub> (Q)	1.6745	1.2362	0.1986
<b>GS (L)</b>	<b>5.9650</b>	<b>1.2362</b>	0.0003
GS (Q)	0.5320	1.2362	0.6739
<b>TEMP (L)</b>	<b>2.6400</b>	1.2362	<b>0.0523</b>
TEMP (Q)	-0.0104	1.2362	0.9934
<b>TIME (L)</b>	<b>5.9716</b>	<b>1.2362</b>	<b>0.0003</b>
TIME (Q)	-1.2154	1.2362	0.3434
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x GS (L)	-1.8500	1.5141	0.2434
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMP (L)	0.8200	1.5141	0.5972
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x TIME (L)	.5825	1.5141	0.7066
<b>GS (L) x TEMP (L)</b>	<b>-2.8675</b>	<b>1.5141</b>	<b>0.0807</b>
GS (L) x TIME (L)	0.9950	1.5141	0.5225
TEMP (L) x TIME (L)	-0.8950	1.5141	0.5645

GLY/CaCl<sub>2</sub> = glycerol/ CaCl<sub>2</sub> ; GS = glucose syrup; TEMP = temperature

L = effect linear; Q = effect quadratic

The parameter showing the greatest influence was the time (L), followed by the glucose concentration (L), glucose syrup\*temperature interaction (L) and the temperature (L). The mean for the water loss was  $34.99 \pm 1.51$  %, a value greater than that of  $12.34 \pm 4.29$ % found by CALIARI et al. (2004), for the osmotic dehydration of *baroa* potatoes using an osmotic solution of 0 to 60% sucrose and 0 to 8% sodium chloride, with a temperature from 30 to 70°C. TELIS et al. (2004), observed the dehydrating power of different concentrations of sucrose and salt solutions during the osmotic dehydration of tomatoes, and showed that an increase

in concentration, independent of the type of solute used, increased the water loss from the product.

After eliminating the non-significant parameters, the significance of the regression and of the residue were verified for the design under study, at a 95% confidence level, by the analysis of variance (ANOVA) using the F test, as can be seen in Table 6.6.

**Table 6.6.** Analysis of variance (ANOVA) for the water loss of dehydrated sweet potato slices.

	<b>SQ</b>	<b>DL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculated</sub></b>	<b>F<sub>tabulated</sub> (0.05;4;23)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regression</b>	502.1600	4	125.54	14.2390	2.80	0.72
<b>Residue</b>	202.7821	23	8.8166			
<b>Total</b>	704.9421	27				

The model for WL presented significant regression ( $F_{\text{calculated}}$  5.09 times greater than  $F_{\text{tabulated}}$ ) and the coefficient of determination ( $R^2$ ) obtained for the fitted model was 0.72, indicating that the model explained 72% of the variation in the data observed.

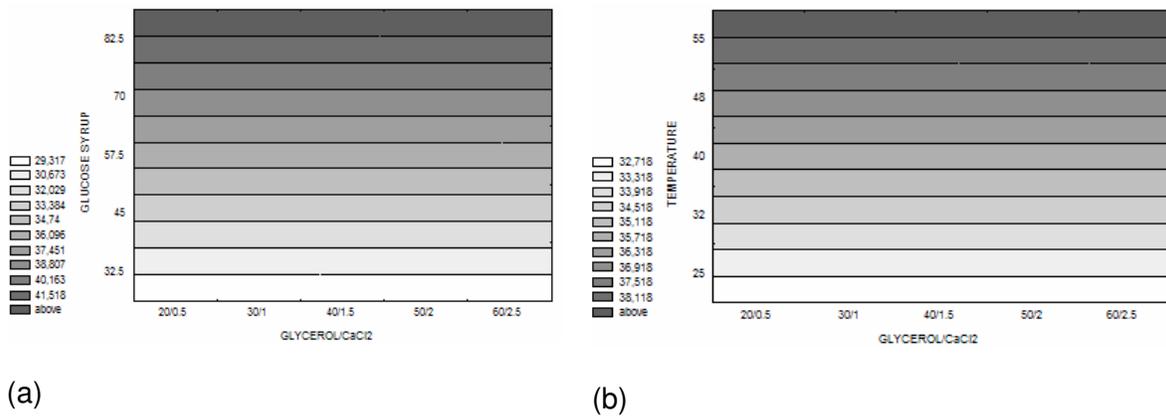
Equation 5 presents the codified model proposed to represent the water loss in the osmotic dehydration of sweet potato slices:

$$\text{WL} = 35.4178 + 2.9825 \cdot \text{GS} + 1.3200 \cdot \text{TEMP} + 2.9858 \cdot \text{TIME} - 1.4337 \cdot \text{GS} \cdot \text{TEMP} \quad (5)$$

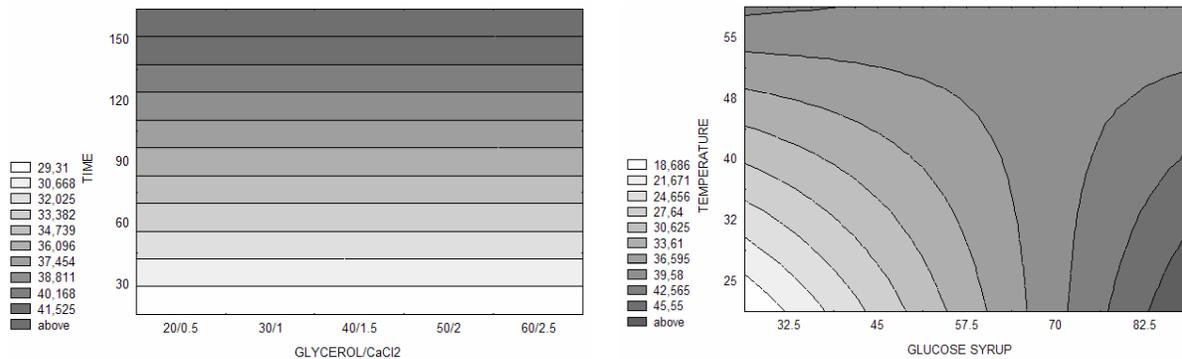
Where: WL is the water loss  
 GS is the glucose syrup  
 TEMP is the temperature

to show the contour curves generated by the model for water loss.

The glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration did not influence water loss as can be seen in (a and b) and (a). The greatest water loss values were obtained with glucose syrup concentrations above 70% ( (a), (b) and (a)). In (a) and (b), the range of greatest water loss corresponds to a temperature above 55°C. The ideal time for a greater water loss should be more than 120 minutes ( (a), (a and b)). The temperature did not influence water loss, as can be seen in (b).

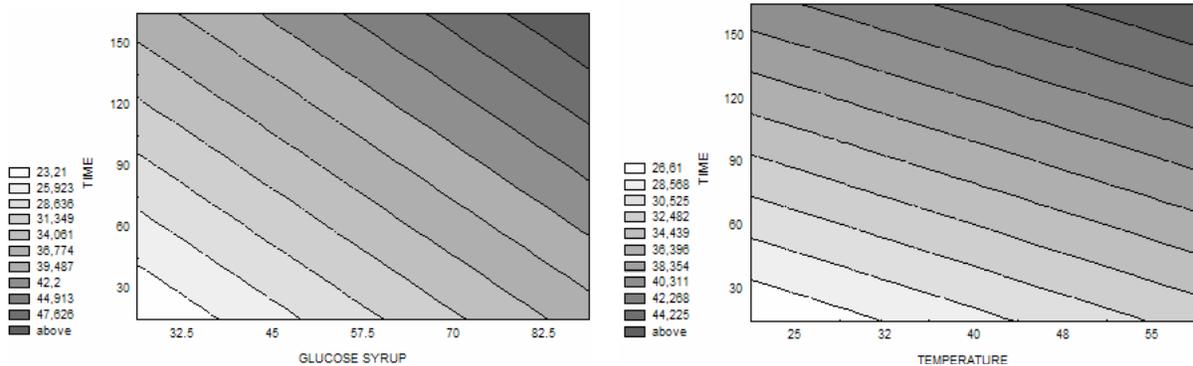


**Figure 6.4** (a) Contour curve for water loss as a function of glucose syrup and glycerol/CaCl<sub>2</sub>. (b) Contour curve for weight reduction as a function of temperature and glycerol/CaCl<sub>2</sub>.



(a) (b)

**Figure 6.5** (a) Contour curve for water loss as a function of time and glycerol/CaCl<sub>2</sub>. (b) Contour curve for water loss as a function of temperature and glucose syrup.



(a) (b)

**Figure 6.6** (a) Contour curve for water loss as a function of time and glucose syrup. (b) Contour curve for water loss as a function of time and temperature.

### 3.3 Solids gain (SG)

Table 6.7 shows the effects of the linear and quadratic values and their interactions on the solids gain in dehydrated sweet potato slices, the values in bold being significant at the 5% significance level. The factors: mean, glycerol/CaCl<sub>2</sub> (Q), glucose syrup (Q), temperature (L) and time (Q) were considered to be significant by the author for reasons of common sense with respect to the osmotic dehydration process, and since the value for *p* was close to the values considered significant.

The parameter that exerted the greatest effect was the glucose syrup concentration (L), followed by the glucose syrup \*temperature interaction, time (Q), glucose syrup (Q), temperature (L) and glycerol/CaCl<sub>2</sub> (Q). The average value for SG was about  $1.68 \pm 0.82$  %, a result 8 times lower than that encountered by

ANTONIO (2006) in the osmotic dehydration of 0.5 mm slices of sweet potato using 40 to 60% sucrose concentration, 0 to 10% salt concentration and a temperature varying from 30 to 50°C.

**Table 6.7** Effects of the independent variables on the solids gain of dehydrated sweet potato slices ( $R^2=0.73$ ).

Factor	Effect	Standard error	p
<b>Mean</b>	<b>1.6825</b>	<b>0.8245</b>	<b>0.0621</b>
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L)	0.0808	0.6732	0.9062
<b>GLY/CaCl<sub>2</sub> (Q)</b>	<b>-1.0414</b>	<b>0.6732</b>	<b>0.1458</b>
<b>GS (L)</b>	<b>2.7208</b>	<b>0.6732</b>	0.0013
<b>GS (Q)</b>	<b>-1.1764</b>	<b>0.6732</b>	<b>0.1041</b>
<b>TEMP (L)</b>	<b>-1.0475</b>	0.6732	<b>0.1437</b>
TEMP (Q)	0.3635	0.6732	0.5983
TIME (L)	0.5608	0.6732	0.4198
<b>TIME (Q)</b>	<b>-1.1964</b>	<b>0.6732</b>	<b>0.0989</b>
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x GS (L)	0.1437	0.8245	0.8642
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x TEMP (L)	0.1812	0.8245	0.8294
GLY/CaCl <sub>2</sub> (L) x TIME (L)	-0.1562	0.8245	0.8526
<b>GS (L) x TEMP (L)</b>	<b>2.1562</b>	<b>0.8245</b>	<b>0.0213</b>
GS (L) x TIME (L)	0.3937	0.8245	0.6409
TEMP (L) x TIME (L)	-0.5937	0.8245	0.4842

GLY/CaCl<sub>2</sub> = glycerol/ CaCl<sub>2</sub> ; GS = glucose syrup; TEMP = temperature

L = effect linear; Q = effect quadratic

The SG found in this study can be considered small and in some trials presented negative values, a fact that can be explained by the loss of natural solids from the actual product together with the moisture, since the plasmatic membrane is not completely selective (RASTOGI et al., 2002). This was also because of the limiting phase that occurred at the surface of the sweet potato when the osmotic concentrations were very high, and the interactions between the solutes were used to generate a decrease in the driving force between the solution and the product to impede mass transfer (SACCHETTI et al., 2001).

The solids gain is mainly dependent on the characteristics of the biological microstructure of the raw material and on the modifications this structure can

undergo due to the pre-treatments, handling and the actual processing (temperature, time and agitation) which can lead to alterations in permeability of the tissue structures (QUERIDO, 2005).

Trial 16 showed the greatest solids gain (2.73%), but this value is nevertheless below the limit that could cause de-characterization of the product, would be greater than 25% (TOREZAN, 2005).

After eliminating the non-significant parameters, the significance of the regression and of the residue were verified for the design under study, at a 95% confidence level, by the analysis of variance (ANOVA) using the F test, as can be seen in Table 6.8.

**Table 6.8** Analysis of variance (ANOVA) for the solids gain of dehydrated sweet potato slices.

	<b>SQ</b>	<b>DL</b>	<b>QM</b>	<b>F<sub>calculated</sub></b>	<b>F<sub>tabulated</sub> (0.05;6;21)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Regression</b>	90.4275	6	15.0712	7.8304	2.57	0.70
<b>Residue</b>	40.4194	21	1.9247			
<b>Total</b>	130.8469	27				

The model presented significant regression ( $F_{\text{calculated}}$  3.05 times greater than  $F_{\text{tabulated}}$ ) and the coefficient of determination ( $R^2$ ) obtained for the fitted model was 0.70, indicating that the model explained 70% of the variation in the data observed.

Equation 6 presents the codified model proposed to represent the gain in solids in the osmotic dehydration of sweet potato slices:

$$SG = 1.9551 - 0.5661*GLU/CaCl_2^2 + 1.3604*GS - 0.6336*GS^2 - 0.5237*TEMP - 0.6436*TIME^2 + 1.0781*GS*TEMP \quad (6)$$

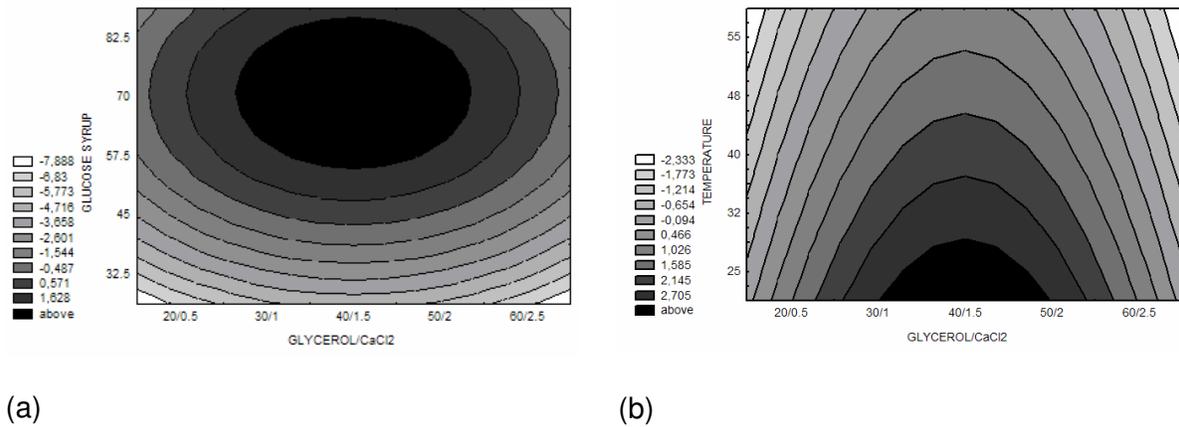
Where: SG is the solids gain  
GLU/CaCl<sub>2</sub> is the glycerol/CaCl<sub>2</sub>  
GS is the glucose syrup  
TEMP is the temperature

to show the respective contour curves, generated by the model for solids gain.

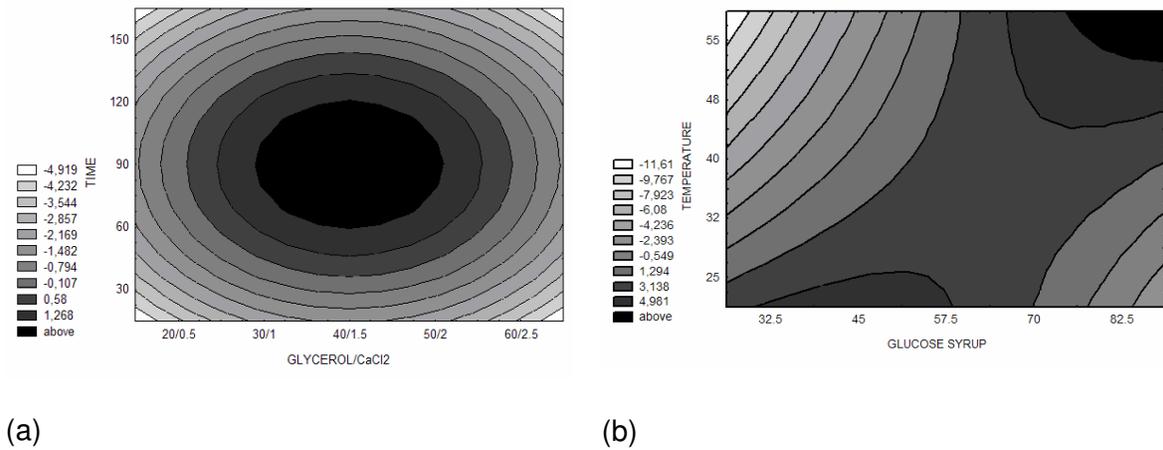
The ideal situation is that the solids gain be between 5 and 25%, such that the product does not suffer de-characterization in relation to the initial product (RAOULT-WACK et al., 1994). Since, in the present study, the solids gain was not above 5%, the region of greatest solids gain was chosen, which nevertheless was lower than the minimum tolerated.

The glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration required to obtain the maximum solids gain was between the values of 30/1.0 and 50/2.0 as can be seen in (a and b) and (a). The greatest solids gains were reached with: (i) glucose concentrations above 57.5% ((a) and (a)); (ii) temperatures below 48°C (Table 6.7 (b) and (b)); (iii) time between 60 and 120 minutes ( (a) and (a and b). In (b), the range for the greatest solids gain was found when the glucose syrup concentration was between 45 and 70% and the temperature had no influence in this case.

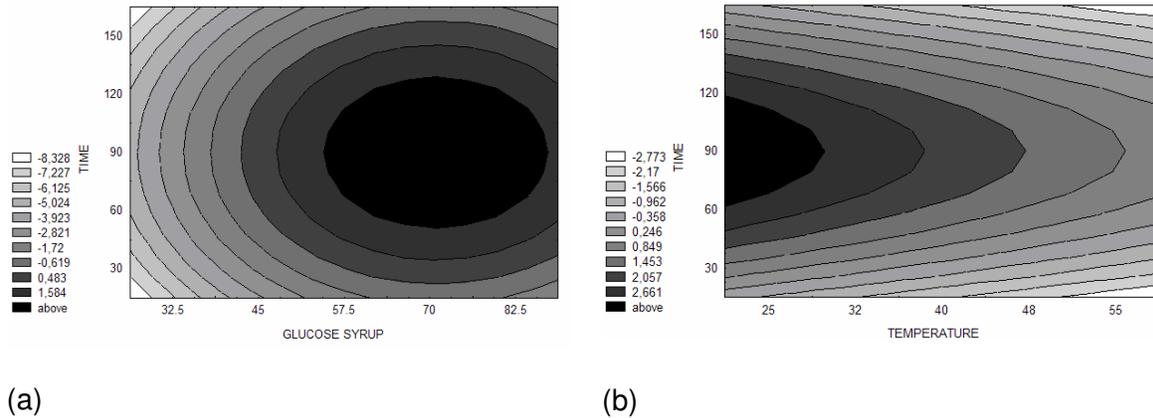
The objective of the optimization of the osmotic dehydration of sweet potato slices was to maximize the water loss (WL) and minimize the incorporation of solids. However, since the solids gain (SG) was below 5%, the region of maximum solids gain was chosen, which still did not reach the minimum tolerated of between 5 and 25%, so that the product would not undergo de-characterization (RAOULT-WACK et al., 1994).



**Figure 6.7** (a) Contour curve for solids gain as a function of glucose syrup and glycerol/CaCl<sub>2</sub>. (b) Contour curve for solids gain as a function of temperature and glycerol/CaCl<sub>2</sub>.



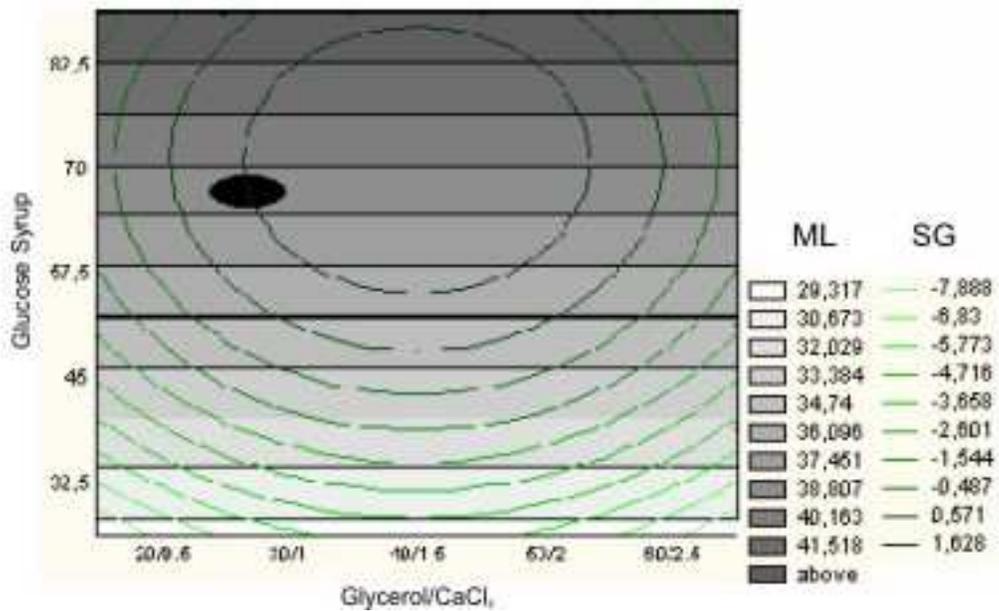
**Figure 6.8** (a) Contour curve for solids gain as a function of time and glycerol/CaCl<sub>2</sub>. (b) Contour curve for solids gain as a function of temperature and glucose syrup.



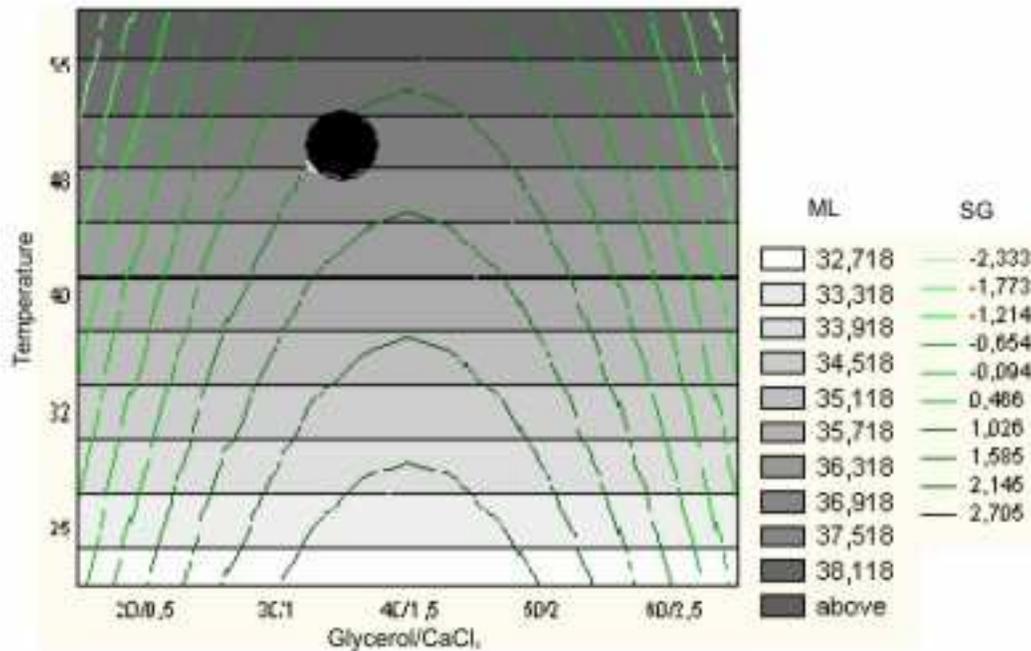
**Figure 6.9** (a) Contour curve for solids gain as a function of time and glucose syrup. (b) Contour curve for solids gain as a function of time and temperature.

In order to determine a region that would satisfy this condition, the contour curves for water loss (areas in black and white) were superimposed on those for solids gain (delimited by green lines).

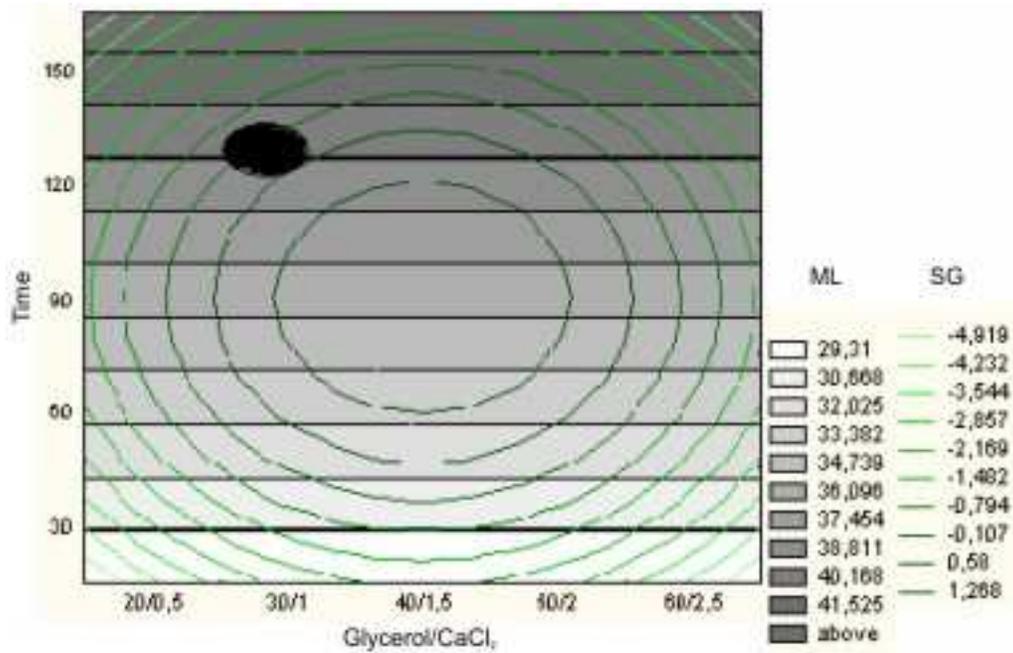
A group analysis of the contour curves (Figure 6.10 until Figure 6.15) carried out with the aim of using the least solute, lowest temperature and shortest time for economic reasons, determined that the optimal conditions would be: (i) glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration of 30/1.0; (ii) glucose syrup concentration of 63.75%; (iii) temperature of 48°C and (iv) time of 120 minutes.



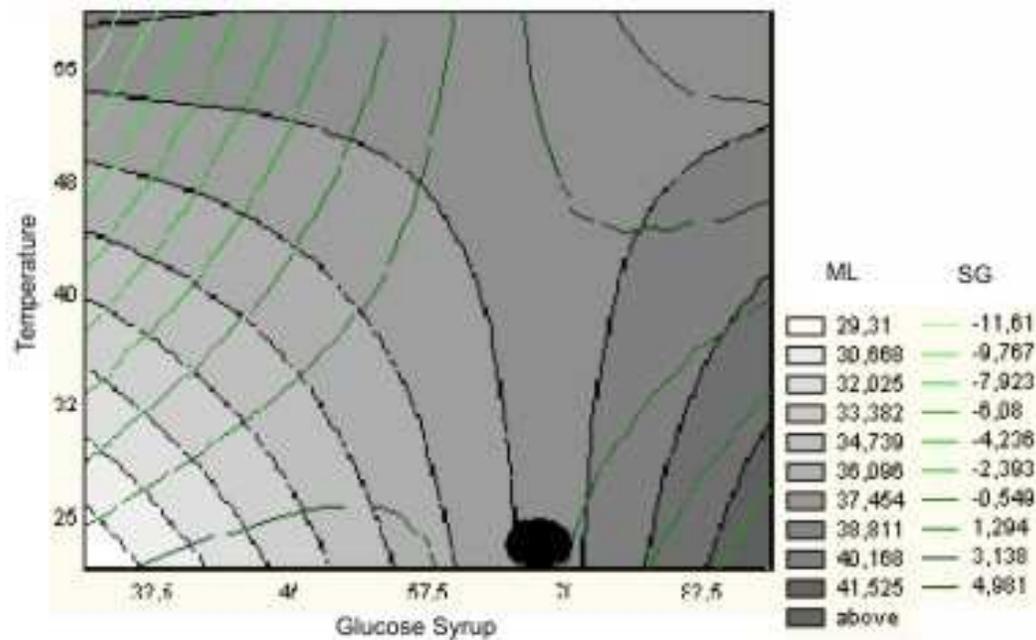
**Figure 6.10** Superimposition of the contour curves for WL and SG as a function of glucose syrup and glycerol/CaCl<sub>2</sub>.



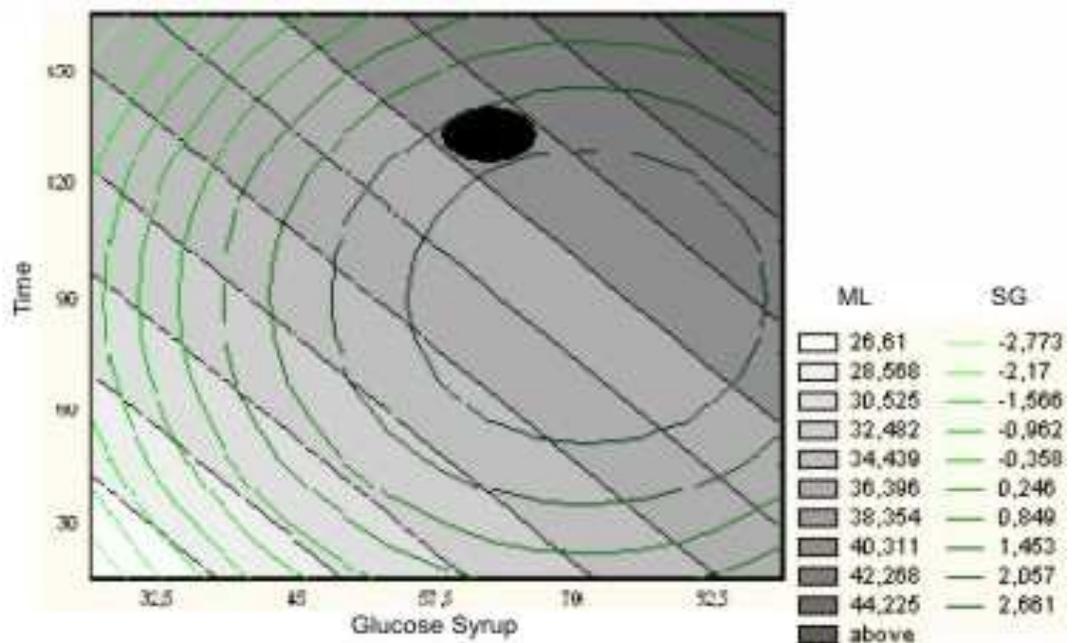
**Figure 6.11** Superimposition of the contour curves for WL and SG as a function of temperature and glycerol/CaCl<sub>2</sub>.



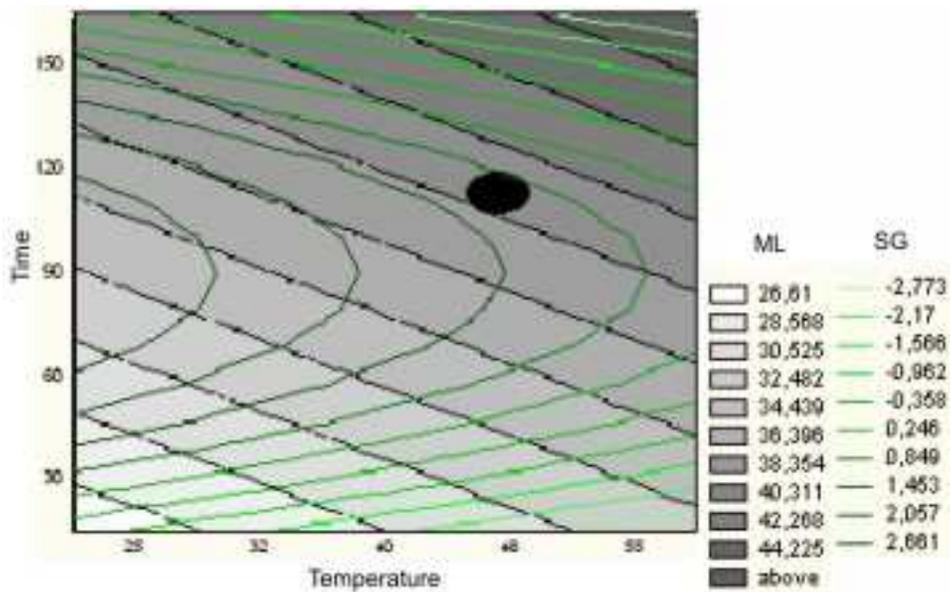
**Figure 6.12** Superimposition of the contour curves for WL and SG as a function of time and glycerol/CaCl<sub>2</sub>.



**Figure 6.13** Superimposition of the contour curves for WL and SG as a function of temperature and glucose syrup.



**Figure 6.14** Superimposition of the contour curves for WL and SG as a function of time and glucose syrup.



**Figure 6.15** Superimposition of the contour curves for WL and SG as a function of time and temperature.

#### 4 . Conclusions

The water loss was, on average, 44 times greater than the incorporation of solids for all the trials analyzed. The optimum conditions for the osmotic dehydration of sweet potato slices were: i) glycerol/CaCl<sub>2</sub> concentration of 30/1.0; (ii) glucose syrup concentration of 63.75%; (iii) temperature of 48°C and (iv) time of 120 minutes.

#### 5 References

- ANDREOTTI, R.; MATALONI, G. **La preparazione industriale dei canditi**. Parma: Stazione Sperimentale per l'industria delle conserve alimentari in Parma. 90p. 1990.
- ANTONIO, G.C. **Avaliação do efeito dos pré-tratamentos de desidratação osmótica e secagem HTST na obtenção de snacks de batata-doce (*Ipomoea Batatas Lam*)**. 2006. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- ANTONIO, G.C.; ALVES, D.G.; AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X.; PARK, K.J. Influence of osmotic dehydration and high temperature short time processes on dried sweet potato (*Ipomoea batatas Lam.*). **Journal of Food Engineering**, v. 84, p. 375-382, 2007.
- BARBOSA JUNIOR, J.L. **Influência da temperatura e da concentração na desidratação osmótica de abóbora (*Cucúrbita máxima*) e cenoura (*Daucus carota L.*) utilizando metodologia de superfície de resposta**. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- BOHUON, P.; RAOULT-WACK, A.L. Procédé de deshydratation osmotique. In: Le MESTE, M.; SIMATOS, D.; LORIENT, D. **L'eau dans les aliments**. Paris: Lavoisier Tec et Doc, 2002. p.405-428.
- CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M.; FERNANDES, T.N.; GONÇALVES JÚNIOR, S. Desidratação osmótica de batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.34, n.1, p.15-20, 2004.
- ERTEKIN, F.K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas. II. Influence of osmosis on drying behaviour and product quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, n.20, p.87-104, 1996.
- HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Science des Aliments**, n.10, p. 831-848, 1990.
- LENART, A.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmotic process. **Journal of Food Technology**, v.19, p.45-63, 1984.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruit and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p.391-413, 1996.

QUERIDO, A. F. **Estudo da influência de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 193 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v.5, n.8, p.255-260, 1994.

RAOULT-WACK, A.L.; GUILBERT, S.; Le MAGUER, M.; RIOS, G. Simultaneous water and solute transport in shrinking media – Part 1: Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). **Drying Technology**, n.9, p. 589-612, 1991.

RAOULT-WACK, A.L.; LENART, A. GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p. 48-59, 2002.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos**. 1ª edição, Casa do Pão Editora, Campinas, SP, 326p., 2005.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; DALLA ROSA M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability – study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 163-173, 2001.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamento sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p. 536-545, 2005.

TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P.; CHIRALT, A. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwifruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Ottawa, v.3, p. 191-199, 2001.

TELIS, V.R.N.; MURARI, R.C.B.D.L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.253-259, 2004.

TONON, R.V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. 2005. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TOREZAN, G.A.P. **Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga**. 2005. 269p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TORREGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. **Food Research International**, n.26, p.59-68, 1993.

## **6 Acknowledgments**

The authors are grateful to CAPES for conceding the doctorate scholarship, and to FAPESP for financing the research.



**CAPÍTULO 7 - FILMES COMESTÍVEIS BIODEGRADÁVEIS DE  
POLÍMEROS DE FONTES RENOVÁVEIS – POTENCIAL  
DE APLICAÇÃO EM ALIMENTOS FRITOS DE BAIXO  
TEOR CALÓRICO**

---

FONTES, L.C.B.; RAMOS, K.K.; SIVI, T.C.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Filmes comestíveis de polímeros de fontes renováveis – potencial de aplicação em alimentos fritos de baixo teor calórico. XVI Encontro Nacional e II Congresso Latino-Americano de Analistas de Alimentos, ENAAL, realizado em Belo Horizonte, MG, no período de 19 a 23 de julho de 2009.



## CAPÍTULO 7

### FILMES COMESTÍVEIS BIODEGRADÁVEIS DE POLÍMEROS DE FONTES RENOVÁVEIS – POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM ALIMENTOS FRITOS DE BAIXO TEOR CALÓRICO

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Kazumi Kawasaki RAMOS; Thaís Cristina SIVI; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar as propriedades físicas, físico-químicas, morfológicas, mecânicas e de barreira de filmes obtidos à partir de 4,0% de pectina de baixa metoxilação, 2,0% de alginato de sódio e 2,0% de metilcelulose e (ii) avaliar o comportamento destes filmes sob fritura para avaliação do seu desempenho na aplicação em *chips* de batata-doce. O filme de pectina apresentou a menor: (i) permeabilidade ao vapor de água, (ii) espessura, (iii) solubilidade em água, (iv) resistência à tração, (v) alongação e (v) tempo para que o mesmo mudasse de cor e tamanho durante o processo de fritura. A coloração final do filme após o contato do mesmo em oleína e estearina de palma foi preta. O filme de alginato apresentou a maior resistência à tração e alongação e a menor permeabilidade ao oxigênio. O tempo de contato com o óleo foi intermediário, tanto na oleína (2,5s) como na estearina de palma (3,5s). Após o contato com a oleína de palma, o filme de alginato apresentou coloração preta e após o contato com a estearina, sua coloração foi amarronzada. O filme de metilcelulose apresentou características intermediárias e o maior tempo de contato no óleo para que o mesmo mudasse de cor e tamanho. A coloração final do filme após o contato do mesmo em oleína e estearina de palma foi amarelada. A coloração permaneceu praticamente inalterada em relação ao filme antes do contato. De acordo com a caracterização das propriedades químicas e físicas, o filme de alginato seria o mais indicado para ser aplicado como cobertura nos *chips* de batata-doce, pois

apresentou a maior resistência à tração e alongação o que proporcionaria maior garantia que a cobertura recobrirá uniformemente e terá menor chance de ruptura durante o processamento, além de ter uma baixa permeabilidade ao oxigênio o que dificultaria as trocas gasosas e a oxidação do produto final. No aspecto coloração após a fritura, o filme de metilcelulose seria o mais indicado, pois praticamente não apresentou alteração de coloração após o processo de fritura.

**Palavras-chave:** filmes comestíveis, pectina, alginato e metilcelulose.

## **1 Introdução**

O uso de filmes e coberturas comestíveis em produtos alimentícios parece ser uma técnica recente, no entanto, a aplicação de ceras em frutas cítricas vem sendo utilizada desde os séculos XII e XIII, na China, para retardar a desidratação e melhorar a aparência das mesmas (DEBEAUFORT et al., 1998).

Em relação à nomenclatura, a maioria dos pesquisadores utiliza os termos cobertura e filme indiscriminadamente. No entanto, a cobertura é uma fina camada de material aplicada e formada diretamente na superfície do produto, enquanto que o filme é pré-formado separadamente e aplicado posteriormente sobre o produto (GONTARD;GUILBERT, 1995; KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997).

Os filmes e coberturas possuem a função de inibir ou reduzir a migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, lipídios, aromas, dentre outros, pois promovem barreiras semi-permeáveis. Além disso, podem transportar aditivos alimentícios como antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes e/ou melhorar a integridade mecânica e/ou as características de manuseio do alimento (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997).

Para a formação de coberturas comestíveis, é necessária a dispersão ou solubilização das macromoléculas em um solvente (água, etanol ou ácidos orgânicos) e a utilização de um plastificante para se obter uma solução filmogênica, que será a seguir aplicada diretamente sobre o produto. O processo se completa com a evaporação do solvente ou secagem (GONTARD, 1994; CUQ et al., 1997).

As macromoléculas mais utilizadas na elaboração de filmes e coberturas comestíveis são as proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten de trigo, zeína e proteínas miofibrilares), os polissacarídeos (amido e seus derivados; pectina; celulose e seus derivados; alginato e carragena) e os lipídios (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo) ou a combinação dos mesmos (CUQ et al., 1995).

O plastificante é definido como uma substância de alto ponto de fusão, que quando adicionada a outro material provoca mudanças nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (McHUGH; KROCHTA, 1997). Os plastificantes provocam um aumento da flexibilidade das cadeias dos polímeros e da resistência mecânica, diminuindo possíveis descontinuidades e zonas quebradiças (KROCHTA et al., 1994), além de melhorar a adesividade do filme (LIN et al., 2000).

Os filmes elaborados a partir de polissacarídeos ou proteínas possuem excelentes propriedades mecânicas, ópticas e organolépticas, porém são sensíveis à umidade e apresentam alto coeficiente de permeabilidade ao vapor d'água. Ao contrário, as coberturas compostas de lipídios apresentam boas propriedades de barreiras ao vapor d'água, mas são opacas e pouco flexíveis, além de apresentarem sabor residual, que pode influenciar as características organolépticas do alimento. A combinação dos biopolímeros tem como vantagem agregar os pontos positivos de cada um dos constituintes utilizados (GALLO et al., 2000).

As coberturas mais utilizadas para reduzir a migração do óleo para o alimento no processo de fritura são os hidrocolóides, os lipídios ou a combinação de ambos. Os hidrocolóides são especialmente interessantes, pois possuem boa propriedade de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídios (WILLIANS; MITTAL, 1999). Dentre os hidrocolóides mais usados como coberturas estão as proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos. Dois critérios são importantes para a escolha de um material que possa ser utilizado como barreira para incorporação de óleo no produto durante a fritura, permeabilidade ao óleo e resistência a altas temperaturas (ALBERT; MITTAL, 2002).

MALIJKARJUNAN et al. (1997), utilizando esferas de 47 mm de diâmetro de batatas maceradas como modelo, estudaram o efeito de coberturas de zeína de milho, metoximetilcelulose e metilcelulose, conseguindo uma redução do teor de óleo de 59; 61,4 e 83,65%, respectivamente.

QUERIDO (2005) estudou o uso de coberturas de pectina (1,0; 2,0 e 3,0%) e alginato de sódio (1,0 e 2,0%) em maçãs como barreira à incorporação de óleo. A concentração de 2,0% das duas coberturas mostraram-se eficientes quando utilizadas como coberturas comestíveis imediatamente antes do processo de fritura, reduzindo 60% da incorporação de óleo pelo produto final.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas, físico-químicas, morfológicas, mecânicas e de barreira de filmes comestíveis e biodegradáveis obtidos à partir de pectina de baixa metoxilação, alginato de sódio ou metilcelulose, visando avaliar seu desempenho na minimização de incorporação de óleo se aplicados como coberturas em *chips* de batata-doce.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Material**

Os materiais utilizados para a elaboração dos filmes foram: (i) pectina de baixo grau de esterificação (30%), amidada (18%), com nome comercial Pectina GENU® tipo LM-102AS obtida de frutas cítricas cedida pela CPKelco Brasil S/A; (ii) alginato de sódio de nome comercial PROTANAL LF 20/40 doada pela FMC Química do Brasil LTDA, Campinas, SP; (iii) metilcelulose de nome comercial METHOCEL A 15 FG cedida pela Dow Brasil S.A., São Paulo; (iv) glicerol (Synth); (v) cloreto de cálcio (Synth).

### **2.2 Elaboração dos filmes**

#### **2.2.1 Filme de pectina de baixa metoxilação**

Para a elaboração dos filmes de pectina, foi adotado o seguinte procedimento: (i) solubilização de 1,0% de glicerol, em relação à macromolécula, em 2000mL de água sob aquecimento a 60°C com agitação magnética moderada durante 5 minutos; (ii) posteriormente foi adicionado 4,0% de pectina, mantendo a

temperatura a 60°C e a agitação magnética durante 20 minutos para completa solubilização do material; (iii) em seguida, foi adicionado 0,06% de CaCl<sub>2</sub> sob agitação magnética a 60°C por mais 5 minutos. Alíquotas de 55mL dessa solução foram espalhadas em placas de *plexiglas*<sup>®</sup> e mantidas à temperatura de 35°C em estufa com recirculação de ar (visando a simulação da secagem das coberturas nos *chips* de batata-doce) durante 24 horas.

### 2.2.2 Filme de alginato de sódio

Os filmes de alginato de sódio foram obtidos pela solubilização de 0,5% de glicerol, em relação à macromolécula, em 700mL de água destilada a 70°C e após 5 minutos de agitação magnética, foi adicionado 2,0% de alginato de sódio, mantendo a agitação durante 20 minutos para completa dissolução. Alíquotas de 55mL dessa solução foram depositadas em placas de *plexiglas*<sup>®</sup> e mantidas à temperatura de 35°C em estufa com recirculação de ar durante 24 horas para secagem.

### 2.2.3 Filme de metilcelulose

Os filmes de metilcelulose foram elaborados efetuando-se, inicialmente, a solubilização de 0,5% de glicerol, em relação à macromolécula, em 245g de água destilada a 70°C e após 5 minutos de agitação magnética, foi adicionado 2,0% de metilcelulose e 455g de água destilada refrigerada (2°C) sob agitação magnética durante 15 minutos. A solução final foi então colocada em banho de ultrassom (Thornton modelo T1440) por 5 minutos para minimização da formação de bolhas. Alíquotas de 55mL dessa solução foram pipetadas em placas de *plexiglas*<sup>®</sup> e mantidas à temperatura de 35°C em estufa com recirculação de ar durante 24 horas para secagem.

## **2.3 Caracterização dos filmes**

Antes das análises de caracterização, todos os filmes secos permaneceram em dessecadores à 25°C e 50% umidade relativa (utilizando-se solução de nitrato de magnésio saturada), durante 48 horas.

### **2.3.1 Aspecto visual**

Para cada tipo de filme produzido foram realizadas análises visuais e táteis, visando selecionar somente os filmes que fossem homogêneos (avaliação quanto à presença de partículas insolúveis e coloração uniforme), apresentassem continuidade (sem a presença de rupturas ou zonas quebradiças) e possibilitassem o manuseio (facilidade em retirar os filmes do suporte).

### **2.3.2 Espessura**

A espessura dos filmes foi medida em um micrômetro (Modelo MDC-25M, Mitutoyo, MFG, Japão). A espessura foi determinada como sendo a média de dez medidas aleatórias em diferentes partes do filme.

### **2.3.3 Permeabilidade ao vapor de água**

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes foi determinada gravimetricamente, de acordo com o método padrão E-96-95 da ASTM (1995). O filme em forma de disco foi colocado em uma célula contendo cloreto de cálcio e esta acondicionada em um dessecador com temperatura e umidade relativa controladas (25°C e 75% umidade relativa, utilizando-se solução de cloreto de sódio saturada). O vapor de água difundido através do filme foi determinado pelo ganho de massa do cloreto de cálcio, medido a cada 24 horas por 7 dias, em quadruplicata.

A taxa de permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi calculada através da seguinte equação:

$$PVA = \frac{Mp \times espessura}{A \times Tempo \times \Delta p}$$

Onde:

$M_p$  corresponde à massa de umidade absorvida (g).

$A$  é a área da superfície exposta do filme ( $m^2$ ).

$\Delta p$  é a diferença de pressão parcial através do filme ( $gmm/m^2$  dKPa).

### 2.3.4 Solubilidade em água

A solubilidade em água dos filmes foi determinada pelo método proposto por GONTARD et al. (1994). As amostras foram preparadas, em quadruplicata, sendo recortadas em discos de 2cm de diâmetro. A massa seca inicial dos filmes foi obtida após secagem em estufa de circulação de ar à temperatura de 105°C por 24 horas (TECNAL, Modelo TE 394/2). Após a primeira pesagem, as amostras foram imersas em um béquer contendo 50mL de água destilada e colocadas sob agitação em banho termostático (Nova Ética modelo 304/D) durante 24 horas a temperatura de 25°C. Após esse período, as amostras solubilizadas foram retiradas e secas em estufa a 105°C por mais 24 horas, para a obtenção da massa seca final. A solubilidade foi expressa de acordo com a equação:

$$Solubilidade = \frac{(M_i - M_f)}{M_i \times 100}$$

Onde:  $M_i$  = massa seca inicial (g)

$M_f$  = massa seca final, após solubilização (g)

### 2.3.5 Propriedades mecânicas

As resistências à tração e porcentagem de alongação na ruptura foram determinadas usando o texturômetro TAXT2i (Stable Micro System, Hasleme, UK) operado de acordo com o método padrão ASTM D 882-83 (ASTM, 1995). As medidas foram conduzidas em temperatura ambiente (25°C). A separação inicial das garras e a velocidade do “probe” foram de 50mm e 1mm/s, respectivamente. As amostras foram cortadas apresentando 100 mm de comprimento e 25mm de largura. Foram realizadas seis replicatas. A resistência à tração (RT) e a porcentagem de alongação (ELO) foram calculadas através das equações (1) e (2), respectivamente:

$$RT = \frac{F_m}{A} \quad (1)$$

Onde:

RT corresponde à resistência à tração (MPa).

$F_m$  é a força máxima no momento da ruptura do filme (N).

A é a área da secção transversal ( $m^2$ ).

$$ELO = \frac{d_r}{d_{inicial}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

ELO corresponde à porcentagem de alongação (%)

$d_r$  é a distância no momento da ruptura (cm), que corresponde à diferença entre a distância de separação no momento da ruptura e a distância inicial (5 cm).

$d_{inicial}$  é a distância inicial de separação (5cm).

### 2.3.6 Permeabilidade ao oxigênio

A taxa de transmissão de oxigênio (TTO) foi determinada utilizando-se uma modificação do método padrão ASTM D 3985-81 (ASTM, 1995) com o aparelho OX-TRAN 2/20 (Mocon, Inc) a 25°C. A permeabilidade ao oxigênio ( $PO_2$ ) foi calculada através da seguinte equação:

$$PO_2 = \frac{TTO \times e}{\Delta p}$$

Onde:

$PO_2$  é a permeabilidade ao oxigênio ( $\text{cm}^3\mu\text{m}/\text{m}^2.\text{dkPa}$ ).

TTO é a taxa de transmissão de oxigênio ( $\text{mL}/\text{m}^2.\text{dia}$ ).

e corresponde à espessura (cm).

$\Delta p$  é a diferença de pressão parcial entre os dois lados do filme (KPa).

A diferença de pressão através do filme corresponde à pressão atmosférica (101,3KPa), sendo as amostras do filme sujeitas a 100% de gás oxigênio de um lado e de um gás de arraste contendo 98% de nitrogênio e 2% de hidrogênio do outro lado. As análises foram realizadas em duplicata nos filmes acondicionados à temperatura de 25°C e  $52 \pm 2\%$  de umidade relativa, durante 48 horas. Para facilitar a fixação do filme, foi utilizada uma máscara de alumínio (área exposta fixa =  $5\text{cm}^2$ ).

### 2.3.7 Opacidade (Transmitância Total)

A opacidade do filme foi determinada através da transmitância total utilizando o colorímetro Hunterlab (Colorquest II, Faifax, USA). As análises foram realizadas em triplicata após a calibração do colorímetro com um fundo padrão branco e um

fundo padrão negro. A opacidade foi determinada através da seguinte equação (HUNTERLAB, 1997).

$$\frac{Op}{Opb} = Opn \times 100$$

Onde:

Op = opacidade do filme (%);

Opn = opacidade do filme sobreposto a um fundo negro;

Opb = opacidade do filme sobreposto a um fundo branco.

### **2.3.8 Estabilidade dos filmes sob fritura em óleo**

Foi avaliada a estabilidade dos filmes, submetendo-os ao processo de fritura por imersão em óleo, visando simular o que ocorrerá quando forem aplicados sobre o produto alimentício em forma de coberturas, antes do processo de fritura por imersão. As amostras de filmes foram preparadas de modo semelhante à metodologia de solubilidade em água. Foram recortados discos de 2cm de diâmetro, em triplicata, e colocadas em oleína e estearina de palma a 180°C. O tempo necessário para a mudança de cor e tamanho do filme foi determinado.

### **2.3.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

A microestrutura da superfície e da seção transversal dos filmes foi avaliada utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (LEO 440i - Cambridge) a 5kV. Os filmes foram mantidos em dessecadores contendo sílica gel por um período de sete dias, após os quais foram fraturados. As amostras de filme fraturadas foram fixadas em suportes (“stubs”) de alumínio, com fita adesiva de carbono. Para conferir condutividade aos filmes, as amostras foram recobertas com camada de ouro de espessura de 92 Å com taxa de recobrimento de 0,5Å/segundo em metalizador à vácuo (Polaron SC 7620), por 180 segundos, a 3mA.

## 2.4 Análise estatística

As diferenças significativas entre as médias foram identificadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e as análises estatísticas da variância (ANOVA) foram realizadas utilizando-se o programa SAS.

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Caracterização dos filmes

#### 3.1.1 Aspecto visual

Os filmes de pectina, alginato e metilcelulose foram caracterizados quanto aos aspectos visuais e táteis, ou seja, foi verificado se os mesmos apresentavam partículas insolúveis, presença de poros, presença de fraturas/rupturas e fragilidade.

Quanto aos filmes de pectina, as dificuldades encontradas foram a fragilidade e a dificuldade para retirá-los das placas de *plexiglas*<sup>®</sup>. No entanto, através do diagrama de fases com diferentes combinações de pectina (1,0 a 5,0%) e cloreto de cálcio (0,02 a 0,16%) realizado por BATISTA (2004) foi observado que a concentração de 4,0% de pectina com 0,06% de  $\text{CaCl}_2$  apresentou melhor aspecto dos filmes em relação ao manuseio quando comparados aos demais tratamentos. Com a realização de testes preliminares foi verificado que a adição do plastificante glicerol a 1,0% em relação a macromolécula proporcionou um filme menos quebradiço devido ao aumento da flexibilidade das cadeias dos polímeros e da resistência mecânica, diminuindo possíveis descontinuidades e zonas quebradiças (KROCHTA; BALDWIN; NISPERO-CARRIEDO, 1994).

No caso dos filmes de alginato de sódio, a maior dificuldade encontrada foi na alta viscosidade da solução para pipetar o filme nas placas de *plexiglas*<sup>®</sup>. No entanto, através de testes preliminares, foi possível adequar a concentração da solução a 2,0% de alginato, facilitando a pipetagem dos filmes.

Após 20 minutos de agitação moderada, a solução de metilcelulose apresentou grande formação de bolhas, prejudicando o espalhamento da solução nas placas de *plexiglas*<sup>®</sup>. Visando a minimização das bolhas, foi utilizado um banho de ultrassom (Thornton modelo T1440) por 5 minutos.

### 3.1.2 Espessura

A média das espessuras dos filmes de pectina e alginato não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de significância. As médias e os desvios foram  $0,044 \pm 0,003\text{mm}$  e  $0,047 \pm 0,005\text{mm}$ , respectivamente. Um outro estudo com filmes de pectina (4,0%, e cloreto de cálcio 0,06%) apresentou espessura maior ( $0,066 \pm 0,004\text{mm}$ ) que pode ser explicada pelo método de secagem que foi a 25°C (BATISTA; TANADA-PALMU; GROSSO, 2005). A espessura do filme de alginato de sódio do tipo I na concentração de 1,5% e glicerol (0,6%) foi praticamente o dobro  $0,101 \pm 0,001\text{mm}$ , fato que pode ser explicado devido a composição da matéria-prima (ZACTITI, 2004).

O filme de metilcelulose apresentou maior média de espessura ( $0,063 \pm 0,006\text{ mm}$ ) e diferença significativa ao nível de 5% de significância em relação aos filmes de pectina e alginato de sódio. O resultado obtido foi superior ao encontrado por NELSON; FENNEMA (1991), provavelmente devido à metodologia utilizada na elaboração do filme, alíquota e tamanho do suporte de secagem (20 x 112cm).

A uniformidade da espessura dos filmes é importante, pois funciona como base para cálculo de várias propriedades funcionais dos filmes (XIE et al., 2002).

### 3.1.3 Permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água

As médias de permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose variaram entre 5,20 e 15,57g.mm/m<sup>2</sup>.d.KPa. A solubilidade em água variou entre 60,83 e 100%, como pode ser observado na Tabela 7.1.

**Tabela 7.1** Permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose.

Filmes	Espessura (mm)	PVA (g.mm/m <sup>2</sup> .d. KPa)	Solubilidade em água (%)
PECTINA	0,041 ± 0,004 <sup>b</sup>	5,20 ± 0,23 <sup>c</sup>	60,83 ± 0,35 <sup>b</sup>
ALGINATO	0,049 ± 0,007 <sup>b</sup>	15,57 ± 0,10 <sup>a</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>
METILCELULOSE	0,062 ± 0,006 <sup>a</sup>	12,43 ± 0,21 <sup>b</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>

Média com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância.

Quanto à permeabilidade ao vapor de água (PVA), todos os filmes apresentaram diferença significativa ao nível de 5%. Os filmes que apresentaram maior e menor PVA foram, respectivamente, o de alginato de sódio (15,57g.mm/m<sup>2</sup>.d.KPa) e o de pectina (5,20g.mm/m<sup>2</sup>.d.KPa), este último também apresentou a menor espessura. Segundo PARK; CHINNAN (1995), a permeabilidade ao vapor de água pode variar com a espessura dos filmes em virtude de mudanças estruturais causadas pelo inchamento da matriz, o que afeta a estrutura dos filmes e provoca tensões internas que podem influenciar a permeação.

O valor de PVA encontrado para o filme de alginato foi semelhante ao apresentado por ZACTITI (2004) para filmes de alginato de sódio do tipo III na concentração de 1,5%, adicionado de glicerol 0,6% e secos em estufa a 40°C/18-20 horas (13,59g.mm/m<sup>2</sup>.d.KPa).

Em estudo sobre a permeabilidade ao vapor de água de filmes com 4,0% de pectina e 0,06% de cloreto de cálcio, BATISTA; TANADA-PALMU; GROSSO

(2005) reportaram valor de 7,21g.mm/m<sup>2</sup>.d.KPa, superior ao encontrado neste trabalho, provavelmente por apresentar uma maior espessura (0,066mm).

Os filmes de metilcelulose apresentaram valores de PVA intermediários em relação aos filmes estudados (12,43g.mm/m<sup>2</sup>.d.KPa).

A solubilidade do filme em água indica sua integridade em ambiente muito úmido ou aquoso (VICENTINI, 2003). A solubilidade em água dos filmes de alginato e metilcelulose foi de 100%, ou seja, o filme é totalmente solúvel em água. 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).

A solubilidade dos filmes de pectina em água foi de 60,83% ± 0,35 diferindo estatisticamente dos demais filmes estudados. BATISTA; TANADA-PALMU; GROSSO (2005) encontraram valor de solubilidade em água superior (100%) ao encontrado neste trabalho quando filmes com 4,0% de pectina e 0,06% de glicerol foram avaliados.

### **3.1.4 Propriedades mecânicas**

As médias de resistência à tração dos filmes estudados variaram entre 52,98 e 112,07MPa, diferindo estatisticamente entre si (Tabela 7.2). Os filmes de alginato de sódio e metilcelulose não apresentaram diferença significativa entre si na porcentagem de alongação do filme, no entanto, no filme de pectina pode ser observando a menor alongação e resistência mecânica (1,34; 52,98, respectivamente) como também observado em filmes composto de gelatina e amido de batata na proporção (1:0,3) (FAKHOURI et al., 2007).

**Tabela 7.2** Propriedades mecânicas dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose.

Filmes	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Elongação (%)
PECTINA	0,047 ± 0,003 <sup>b</sup>	52,98 ± 2,13 <sup>c</sup>	1,34 ± 0,11 <sup>b</sup>
ALGINATO	0,045 ± 0,003 <sup>b</sup>	112,07 ± 0,17 <sup>a</sup>	9,09 ± 0,18 <sup>a</sup>
METILCELULOSE	0,064 ± 0,006 <sup>a</sup>	62,59 ± 0,12 <sup>b</sup>	9,28 ± 0,67 <sup>a</sup>

Média com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância.

Os filmes que apresentaram maior resistência à tração foi o de alginato (112,07MPa), seguido do metilcelulose (62,59MPa) e por último o de pectina (52,98MPa). Os valores de resistência à tração encontrados foram maiores que os relatados por BRISTON (1988) para o polietileno de alta densidade (17,3-34,6MPa) e semelhante para o filme de alginato de sódio no estudo de CARULO (2005) utilizando filme de alginato de sódio 1,5% e 0,6% de glicerol (103,46 ± 9,91MPa). Para os filmes de pectina, com concentração de 4,0% e cloreto de cálcio 0,06%, os resultados encontrados em literatura foram superiores tanto para resistência à tração como para elongação (91,11MPa e 2,93%), respectivamente (BATISTA, 2004).

A maior elongação foi obtida através dos filmes de metilcelulose (9,28%), resultado inferior ao encontrado no estudo de DEBEAUFORT et al. (2000) para filmes de 4,25g de metilcelulose em 75mL de solução água e álcool etílico (3:1v/v) que foi de 32%.

### 3.1.5 Permeabilidade ao oxigênio

A permeabilidade ao oxigênio dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose estão apresentadas na Tabela 7.3. A permeabilidade ao oxigênio variou de 5,66 a 268,43cm<sup>3</sup>µm/m<sup>2</sup>dkPa, sendo menor para o filme de alginato e maior para o filme de metilcelulose.

**Tabela 7.3** Permeabilidade ao oxigênio dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose

Filmes	Permeabilidade ao Oxigênio ( $\text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{dkPa}$ )
PECTINA	$19,49 \pm 2,04^b$
ALGINATO	$5,66 \pm 0,00^c$
METILCELULOSE	$268,43 \pm 0,00^a$

Média com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância.

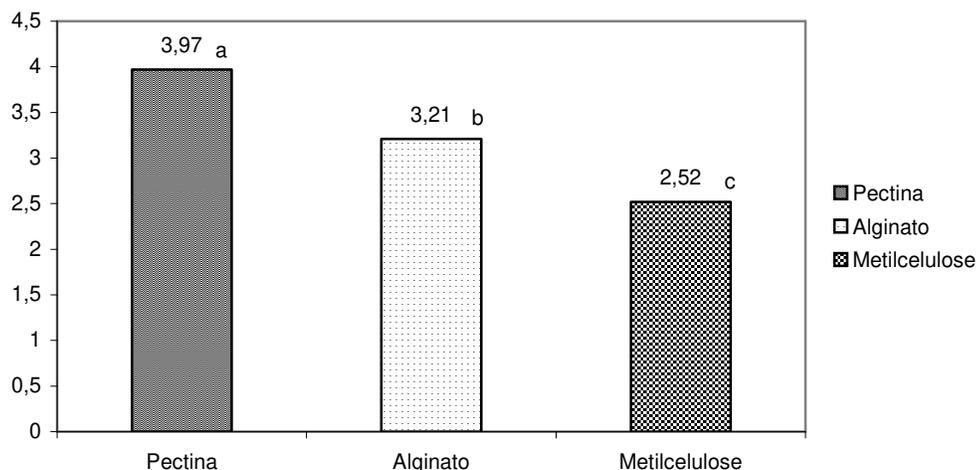
O filme de pectina apresentou valor de permeabilidade ao oxigênio intermediário em relação aos demais filmes estudados ( $19,46 \text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{dkPa}$ ). Resultados semelhantes foram encontrados em filmes compostos de 10g de gelatina, triacetina (15% em relação a macromolécula) e ácido esteárico (10%) ( $20,49 \text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{dkPa}$ ) (BERTAN, 2003).

O resultado de permeabilidade ao oxigênio obtido para os filmes de pectina, alginato e metilcelulose mostraram que estes apresentaram-se mais permeáveis que o cloreto de polivinilideno (PVDC) ( $5,1 \text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{dkPa}$ ), no entanto, os valores foram inferiores ao polietileno de baixa densidade (PEBD) ( $1870 \text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{dkPa}$ ) (McHUGH; KROCHTA, 1994a).

### 3.1.6 Opacidade (Transmitância Total)

A opacidade dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose diferiram estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância (Figura 7.1). O filme de pectina apresentou maior opacidade (3,97%), seguido do filme de alginato (3,21%) e o filme de metilcelulose (2,52%). Estudo com filmes de alginato de cálcio na concentração 2,0% apresentou opacidade de 12% possivelmente devido a diferenciação da matéria-prima e ao modo de elaboração de filme (ZACTITI, 2004).

Os filmes de metilcelulose apresentaram maior transparência dentre os filmes estudados.



**Figura 7.1** Opacidade dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose. Médias com letras iguais não diferem ao nível de  $p \leq 0,05$ .

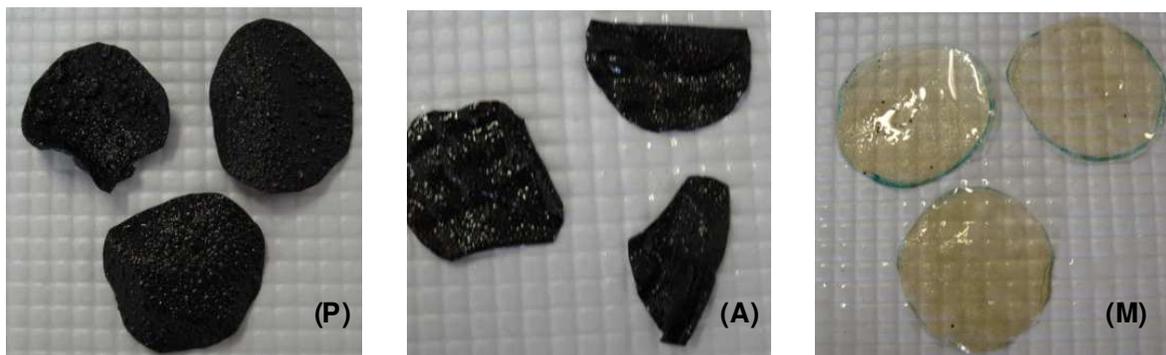
### 3.1.7 Estabilidade dos filmes sob fritura

O filme de pectina apresentou a menor estabilidade, com mudança de cor e tamanho, tanto em oleína (2s) como em estearina de palma (3s), apresentando coloração preta em ambas frituras (Figura 7.2 e Figura 7.3).

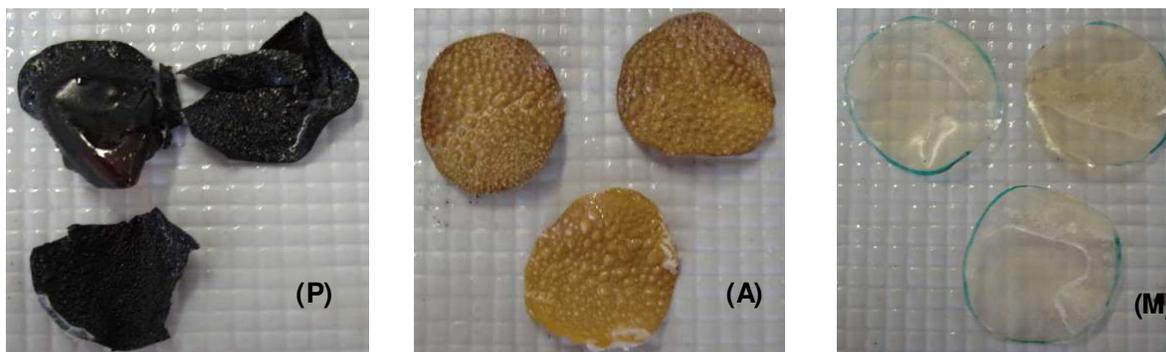
O filme de alginato de sódio apresentou tempo de contato para mudança de cor intermediário, tanto na oleína (2,5s) como na estearina de palma (3,5s). Após o contato com a oleína de palma, o filme apresentou coloração preta e após o contato com a estearina, sua coloração foi marrom (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 7.3).

O filme de metilcelulose foi o que requereu maior tempo de contato do filme para que este mudasse de cor e tamanho, tanto na oleína (3s) como na estearina de palma (6s). Após o contato com oleína e estearina de palma, a coloração do filme não mudou muito, ele apresentou coloração final amarelada.

Comparando os dois óleos, o menor tempo de contato para que ocorresse mudança de cor e tamanho foi observado na oleína de palma.



**Figura 7.2** Filmes de pectina (P), alginato (A) e metilcelulose (M) em contato com oleína de palma.



**Figura 7.3** Filmes de pectina (P), alginato (A) e metilcelulose (M) em contato com estearina de palma.

### 3.1.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

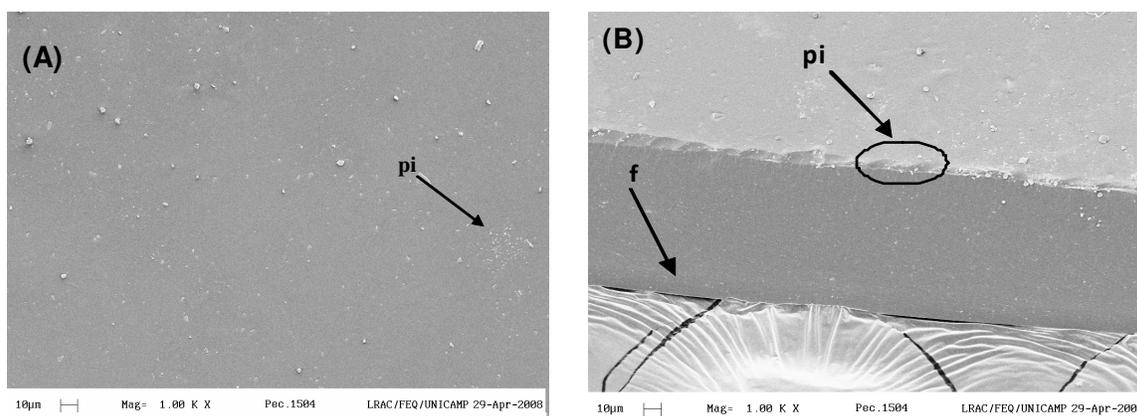
As micrografias dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose obtidas por MEV estão apresentadas nas Figura 7.4 a Figura 7.6.

Os filmes foram avaliados em relação à morfologia da superfície e pela observação da secção transversal após fratura (arranjo da estrutura interna). A fratura foi realizada para evitar compactação da matriz com a utilização de instrumentos cortantes. Em algumas micrografias (Figura 7.4 B, Figura 7.5 B e Figura 7.6 B), foi possível verificar o aparecimento de uma pequena camada na

parte inferior, que corresponde à fita de carbono que dá condução ao filme para sua visualização (representadas nas figuras pela letra “f”).

Para se observar a secção transversal dos filmes, foi necessária a inclinação do suporte onde estavam os “stubs” e com isso foi possível visualizar, em alguns casos, além da estrutura da espessura dos filmes, também a fita de carbono, na qual os filmes eram aderidos para posterior aplicação da camada de ouro e visualização ao microscópio.

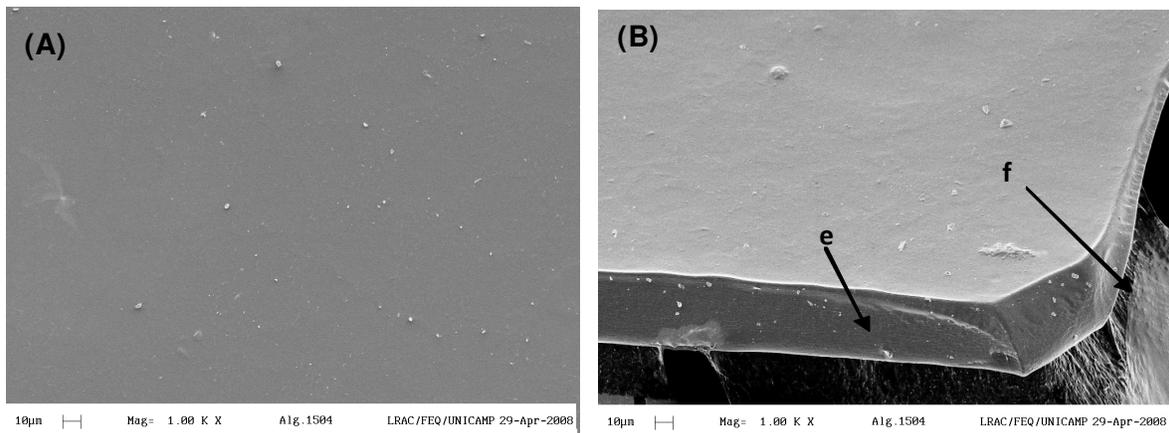
A Figura 7.4 A e B apresentam a estrutura de superfície e da secção transversal, respectivamente, dos filmes de pectina. O filme apresentou superfície com estrutura contínua, lisa e presença de partículas maiores que não estão inseridas na matriz do filme, que podem ser devido à fratura do filme no momento anterior a sua metalização. Foi observada, na superfície e na secção transversal, a presença de pequenos aglomerados de partículas insolúveis (pi), provavelmente devido à insolubilização da pectina. A secção transversal do filme de pectina apresentou-se densa e compacta. Estudos com filmes de gelatina plastificados com triacetina apresentaram superfície lisa e contínua (BERTAN, 2003).



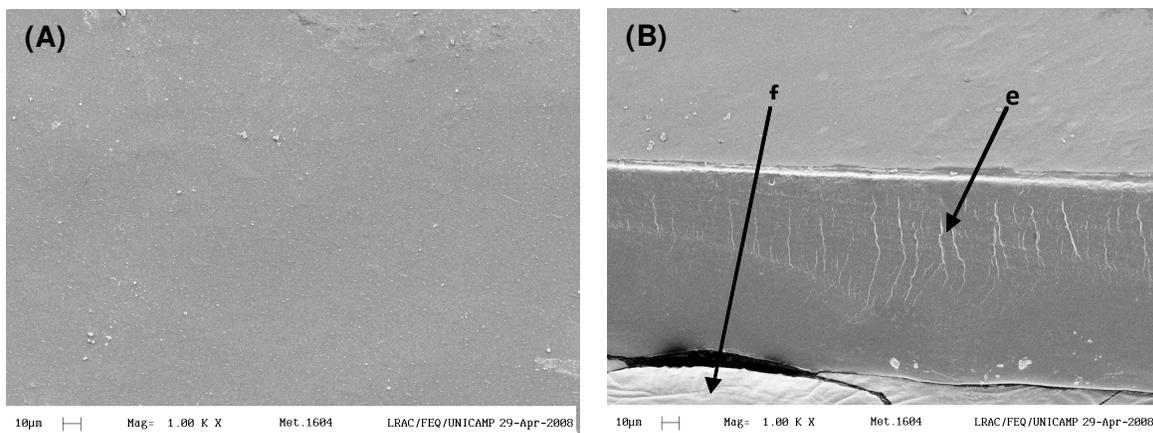
**Figura 7.4** Micrografias obtidas através microscopia eletrônica de varredura para os filmes de pectina (A) superfície e (B) secção transversal. Onde: pi= partículas insolúveis; f = fita de carbono.

As Figura 7.5 A e B apresentam a estrutura da superfície e da secção transversal dos filmes de alginato, respectivamente. O filme apresentou superfície com estrutura homogênea, lisa e a presença de partículas maiores que não estão inseridas na matriz do filme, que podem ser devido à fratura do filme no momento anterior a sua metalização. Em seu estudo, LIMA; ANDREANI; SOLDI (2007) também observaram que filmes de alginato de sódio (2%) apresentaram superfície com estrutura homogênea e lisa. A secção transversal do filme de alginato (Figura 7.5 B) apresentou-se densa, compacta e com pequenas estrias (representadas pela letra “e”) de coloração branca inseridas na matriz polimérica. O mesmo comportamento foi observado por CARVALHO; GROSSO (2004) nos filmes gelatina nativa. Estes autores verificaram que o aparecimento destas estrias pode estar relacionado com a separação de fases do plastificante (glicerol) na matriz.

A estrutura de superfície e da secção transversal dos filmes de metilcelulose estão representadas nas Figura 7.6 A e B, respectivamente. O filme apresentou superfície com estrutura contínua, lisa e a presença de pequenos pontos brancos provenientes provavelmente da insolubilização da metilcelulose. A secção transversal do filme de metilcelulose (Figura 7.6 B) apresentou-se densa, compacta e com pequenas estrias (representada pela letra “e”) de coloração branca inseridas na matriz polimérica, que podem estar relacionadas com a exsudação do plastificante (glicerol) da matriz (CARVALHO; GROSSO, 2004).



**Figura 7.5** Micrografias obtidas através microscopia eletrônica de varredura para os filmes de alginato (A) superfície e (B) secção transversal. Onde: e = estrias e f = fita de carbono.



**Figura 7.6.** Micrografias obtidas através microscopia eletrônica de varredura para os filmes de metilcelulose (A) superfície e (B) secção transversal. Onde: e = estrias e f = fita de carbono.

#### 4. Conclusão

A caracterização dos filmes de pectina, alginato e metilcelulose foi realizada com o intuito de simular o comportamento das coberturas nos *chips* de batata-doce.

O filme de pectina apresentou a menor: (i) permeabilidade ao vapor de água, (ii) espessura, (iii) solubilidade em água, (iv) resistência à tração e (v) alongação.

Durante o processo de fritura por imersão apresentou o menor tempo para que o mesmo mudasse de cor e tamanho. A coloração final do filme após a fritura do mesmo em oleína e estearina de palma foi preta.

O filme de alginato apresentou a maior resistência à tração e alongação e a menor permeabilidade ao oxigênio. O tempo de contato para mudança de cor em óleo foi intermediário, tanto na oleína (2,5s) como na estearina de palma (3,5s). Após o contato com a oleína de palma, o filme apresentou coloração preta e após o contato com a estearina, sua coloração foi amarronzada.

O maior tempo de contato com o óleo de fritura para que o filme mudasse de cor e tamanho foi observado para o metilcelulose. A coloração final do filme após o contato do mesmo em oleína e estearina de palma foi amarelada. A coloração permaneceu praticamente inalterada em relação ao filme antes do contato.

De acordo com a caracterização das propriedades químicas e físicas, o filme de alginato seria o mais indicado para um estudo de aplicação como cobertura nos *chips* de batata-doce, pois apresentou a maior resistência à tração e alongação o que garante que a cobertura recobrirá uniformemente e terá menor chance de ruptura durante o processamento, além de ter uma baixa permeabilidade ao oxigênio o que dificultaria as trocas gasosas e a oxidação do produto final. No aspecto coloração após a fritura, o filme de metilcelulose seria o mais indicado, pois praticamente não apresentou alteração de coloração após o processo de fritura.

O comportamento dos filmes após aplicação na forma de coberturas biodegradáveis em *chips* de batata-doce deverá ser estudado posteriormente a fim de se conhecer os efeitos sobre a incorporação de óleo após a fritura e mudanças nas características do produto final

## 5. Referências bibliográficas

- ALBERT, S.; MITTAL, G.S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. **Food Research International**. V.35, p.445-458, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Designation: **D638M-93, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM, 1995.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Designation: **E 96-95, Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM, 1995.
- BATISTA, J.A. **Desenvolvimento, caracterização e aplicações de biofilmes a base de pectina, gelatina e ácidos graxos em bananas e sementes de brócolos**. 2004, 137p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- BATISTA, J.A.; TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C.R.F. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes à base de pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p.781-788, 2005.
- BERTAN, L.C. **Desenvolvimento e caracterização de filmes simples e compostos a base de gelatina, ácidos graxos e breu branco**. 2003. 157p. Dissertação de mestrado em alimentos e nutrição. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- BRISTON, J.H. **Plastic films**. 3ª edição. New York: John Wiley, Inc., 1988.
- CARULO, M. F., **Desenvolvimento e Caracterização de Biofilmes Ativos Contendo Sorbato de Potássio, Feitos de Alginato de Cálcio e Ácidos Graxos**. 2005. 136p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- CARVALHO, R. A.; GROSSO, C. R. F. Characterization on gelatin based films modified with transglutaminase, glyoxal and formaldehyde. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 717-726, 2004.
- CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Edible film and coating as active layers, In: ROONEY, M.L.(Ed.). **Active Food Packaging**, London: Blackie Academic & Professional, p.111-142, 1995.
- CUQ, B., GONTARD, N., GUILBERT, S. Thermoplastic properties of fish myofibrillar proteins: application to biopackaging fabrication. **Polymer**, **38**: 4071-4078, 1997.
- DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J. A.; VOILLEY A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v.4, p.299-313, 1998.
- DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J. A.; DELPORTE, B.; VOILLEY, A. Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films. **Journal of Membrane Science**, n.180, p.47-55, 2000.
- FAKHOURI, F.M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVS, 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**, v.25, n.2, p.369-375, 2007.

GALLO, J.A.Q.; DEBEAUFORT, F.; CALLEGARIN, F.; VOILLEY, A. Lipidic hydrophobic, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based films. **Journal Membrane Science**, v.180, p.37- 46, 2000.

GONTARD, N. Films comestibles et biodegradables: étude des propriétés filmogènes du gluten de blé. C.R. **Académie Agriculture**, v.80, n.4, p.109-117, 1994.

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

GONTARD, N.; GUILBERT, S. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 29, n. 1-2, p. 10-17, 1995.

HUNTERLAB. The color management company. Universal software, version 3. Reston, 1997.

KROCHTA, J; BALDWIN, E A; NISPEROS-CARRIEDO, M. **Edible coating and films to improve food quality**, 1ed. Lancaster, USA, Technomic Pub Co., 1994.

KROCHTA, J.M.; MULDER-JOHNSTON, C.: Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 2, p. 61-74, 1997.

LIMA, A.M.F.; ANDREANI, L.; SOLDI, V. Influência da adição de plastificante e do processo de reticulação na morfologia, absorção de água e propriedades mecânicas de filmes de alginato de sódio. **Química Nova**, v.30, n.4, p.832-837, 2007.

LIN, S. Y., CHEN, K.S., RUN-CHU, L. Organic esters of plasticizers affecting the water absorption adhesive property, glass transition temperature and plasticizer permanence of Eudragit acrylic films. **Journal of Controlled Release**, v.68, p. 343-350, 2000.

MALIIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.30, n.7, p.709-714, 1997.

McHUGH, T. H., KROCHTA, J. M. Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. **Journal of American Oil Chemistry Society**. Champaign, v.71, n.3, p.307-312, 1994a.

McHUGH, T. H., KROCHTA, J. M. Milk-protein-based edible films and coating. **Food Technology**, v. 51. p. 98-103, 1997.

NELSON, K.L.; FENNEMA, O.R. Methylcellulose filmes to prevent lipid migration in confectionery products. **Journal of Food Science**, v.56, n.2, 1991.

PARK, H. J.; CHINNAN, M. S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulose materials. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.497-507, 1995.

QUERIDO, A. F. **Estudo da influência de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 193 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso pós-colheita**. 2003. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, 2003.

WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.32, n.7, p.440-445, 1999.

XIE, L.; HETTIARACHCHY, N.S.; JU, Z.Y.; MEULLE-NET, J.; WANG, H.; SLAVIK, M.F.; JANES, M.E. Edible film coating to minimize eggshell breakage and reduce post-wash bacterial contamination measured by dye penetration in eggs. **Journal of Food Science**, v.67, n.1, p.280-284, 2002.

ZACTITI, E. M. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis de alginato de cálcio sem e com sorbato de potássio**. 2004. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

## 6. Agradecimentos

Às empresas: CPKelco Brasil S/A, FMC Química do Brasil LTDA e Dow Brasil S.A., pela doação da pectina, alginato e metilcelulose, respectivamente. À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e à FAPESP pelo recurso financeiro de Auxílio à Pesquisa.

**CAPÍTULO 8 - OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FRITURA DE  
CHIPS DE BATATA-DOCE EM OLEÍNA OU  
ESTEARINA DE PALMA**

---

FONTES, L.C.B.; OLIVEIRA, F.G.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Otimização do processo de fritura de *chips* de batata-doce em oleína e estearina de palma. Anais do I Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos, SBCTA, realizado em Salvador-BA no período de 28 a 30 de maio de 2009.



## CAPÍTULO 8

### OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FRITURA DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE EM OLÉINA OU ESTEARINA DE PALMA

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Felipe Gomes OLIVEIRA; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### RESUMO

O processo de fritura confere características sensoriais como odor, sabor, cor e textura muito apreciadas por todas as idades e classes sociais, uma vez que o óleo é incorporado no alimento, ocupando parte do espaço deixado pela água aumentando com isso a sua palatabilidade. O objetivo deste estudo foi otimizar o processo de fritura visando a minimização do teor de óleo incorporado e de umidade nos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma frente à tendência mundial do consumo de produtos saudáveis, com baixo teor de calorias e óleo. Amostras de batata-doce da variedade Monalisa amarela foram lavadas, descascadas, fatiadas na espessura de 3mm e fritas em fritadeira com oleína e estearina de palma na proporção de 1:30 (batata:óleo). O processo de fritura dos *chips* de batata-doce foi avaliado de acordo com o delineamento composto central rotacional com 2 variáveis independentes (11 ensaios): (i) temperatura (140 a 180°C) e (ii) tempo de fritura (3 a 4 minutos). Foram consideradas como variáveis dependentes do processo: a umidade, a cor e o teor de óleo incorporado. As condições ótimas do processo de fritura de *chips* de batata-doce em oleína de palma foram: temperatura de 160°C e tempo de 3 minutos e 30 segundos. Os *chips* apresentaram umidade de 7,43% e teor de óleo de 14,46%. Para a estearina de palma, o tempo ótimo foi o mesmo encontrado para a oleína de palma, no entanto, a temperatura foi de 180°C. Os *chips* apresentaram umidade de 3,47% e teor de óleo de 13,1%.

**Palavras-chave:** fritura, *chips* de batata-doce, oleína e estearina de palma.



## 1 Introdução

A aceitação de alimentos submetidos ao processo de fritura é universal, sendo tais produtos apreciados por todas as idades e classes sociais. O processo de fritura pode ser definido como uma secagem, cozimento ou desidratação rápida, em que a remoção de água do alimento ocorre pela imersão do mesmo em óleo na faixa de temperatura de 120 a 180°C (VITRAC et al., 2000; TOREZAN, 2005).

O óleo na fritura apresenta dupla função: (i) atua como um meio transmissor de calor e (ii) constitui-se em novo ingrediente do produto frito ao ser absorvido pelo mesmo (CELLA et al., 2002). A absorção do óleo pelo alimento oscila entre 10 a 60%, podendo ser influenciada por uma série de parâmetros, os quais atuam sobre as velocidades de transferências de massa e energia entre o óleo e o alimento e que são dependentes do próprio alimento, do óleo e das condições de fritura (SMITH et al., 1985).

A fritura é uma operação complexa que envolve vários parâmetros dependentes: (i) do próprio alimento; (ii) do óleo de fritura; e (iii) do processo.

As características dos alimentos, como a composição química, o tipo de tecido celular vegetal ou animal (MOREIRA et al., 1999) e a variedade, no caso de vegetais, (VITRAC et al., 2000), são parâmetros importantes no processo de fritura. A umidade inicial do alimento é um fator crítico para a qualidade final, pois determina para uma mesma umidade no produto final, teores de incorporação de óleos e tempo de processos diferentes (VITRAC et al., 1997). A relação superfície/volume do alimento em contato com o meio de fritura é muito importante em relação à absorção de óleo. Cada tipo de alimento frito costuma ter um conteúdo característico de óleo absorvido, dependendo, sobretudo, da distância entre a parte interna e a superfície do alimento. O conteúdo lipídico em alimentos com elevada relação superfície/volume é muito mais elevado do que os que

apresentam uma relação menor, como é o caso das batatas *chips* e batatas palitos (PAUL; MITTAL, 1997).

As propriedades do óleo que influem no processo de fritura são: (i) composição química (em ácidos graxos insaturados, poli-insaturados ou saturados); (ii) características físico-químicas (ácidos graxos livres, índice de peróxido, índice de iodo, umidade e cor); (iii) ponto de fusão; (iv) presença de contaminantes e aditivos, podendo causar efeito na palatabilidade, digestibilidade e utilização metabólica do alimento frito (TOREZAN, 2005; QUERIDO, 2005). O tipo de óleo representa o componente mais crítico no sistema de fritura, pois deve apresentar características como: (i) alta resistência à oxidação, à polimerização e à formação de gomas; (ii) baixa taxa de formação de espuma; (iii) baixo ponto de fusão; (iv) pouco escurecimento; (v) ausência de odor e (vi) custo acessível (TOREZAN, 2005).

O óleo de palma é extraído da polpa do fruto e apresenta quantidades aproximadamente iguais de ácidos graxos saturados e insaturados: insaturados incluem 39% de ácido oléico (18:1n-9) e 10% de linoléico (18: 2n-6); saturados incluem 44% de palmítico (16:0) e 5% de esteárico (18:0). Em comparação, o óleo de palmiste é 54-70% saturado, incluindo uma grande quantidade de ácido láurico (12:0) similar ao óleo de coco. Entretanto, os dois óleos são livres de grande quantidade de ácidos graxos altamente insaturados como o linolênico, e, portanto, têm poucos problemas de reversão de sabor (GIESE, 1996).

A oleína de palma é obtida por fracionamento natural do óleo de palma refinado, que consiste em operações de resfriamento e filtração sem uso de aditivos químicos. À temperatura ambiente, a oleína de palma é líquida, podendo apresentar precipitação de triacilgliceróis de maior ponto de fusão, caso este produto seja estocado em ambientes frios. Devido ao baixo teor de ácido alfa-linolênico (18:3n-3), este produto possui elevada resistência à oxidação e por não ter sido submetido a processos de hidrogenação é livre de ácidos graxos trans (AGROPALMA, 2008).

A estearina de palma também é obtida por fracionamento natural do óleo de palma refinado, que consiste em operações de resfriamento e filtração sem uso de aditivos químicos. Devido ao seu alto teor de triacilgliceróis saturados de alto ponto de fusão este produto é sólido a temperatura ambiente e por não ter sido submetido a processos de hidrogenação artificial é livre de ácidos graxos trans. Devido as suas características físicas peculiares este produto substitui com vantagens a diversas gorduras hidrogenadas na indústria de alimentos (AGROPALMA, 2008).

Os principais parâmetros do processo de fritura incluem a temperatura do óleo, o tempo de residência do produto na fritadeira e tipo de equipamento utilizado (TOREZAN, 2005).

A temperatura do óleo e o tempo de residência são as principais variáveis no mecanismo de transferência de massa (perda de água e incorporação de óleo), bem como transformações e reações no produto (VITRAC et al., 2002). Com uma temperatura baixa, a estabilidade do óleo é favorecida, mas ocorrerá um excesso de absorção de óleo. Em contrapartida, uma temperatura elevada provocará um cozimento excessivo do alimento por fora, permanecendo cru por dentro, resultando também em maiores alterações no óleo de fritura (KUPRANYCS et al., 1986). Além da temperatura, a incorporação de óleo está relacionada a mudanças na microestrutura durante a fritura, como enrugamento da superfície, porosidade e distribuição de poros (TOREZAN, 2005).

Assim, como resultado da fritura, transformações são verificadas nas propriedades físico-químicas e sensoriais do produto. Os produtos se tornam crocantes e mais agradáveis em sua textura. O processo de fritura também confere ao alimento cor dourada, brilhante e uniforme, melhorando sua apresentação e aumentando sabores e aromas, devido ao próprio óleo ou ao desenvolvimento de novos compostos. A conservação do produto é prolongada pela destruição de microrganismos e enzimas presentes nos alimentos e sua

palatabilidade é aumentada como consequência da perda de umidade e incorporação de óleo (BLUMENTHAL, 1996).

A obtenção de *chips* de batata-doce de boa qualidade, com desenvolvimento controlado de sabor, aroma, cor e textura característicos, aliado à baixa incorporação de óleo e máxima perda de água, requer uma otimização dos parâmetros do processo de fritura, principalmente tempo e temperatura (TFOUNI et al., 2003).

O objetivo deste estudo é otimizar o processo de fritura visando a minimização do teor de óleo incorporado e de umidade nos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma frente à tendência mundial do consumo de produtos saudáveis, com baixo teor de calorias e óleo.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Preparo das amostras**

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) da variedade Monalisa amarela foi adquirida de um único produtor no CEASA – Campinas/SP em lotes de compra diferentes conforme necessidade da matéria-prima para o processamento. Os tubérculos foram lavados em água corrente para retirada grosseira de sujidades oriundas do campo. Posteriormente, foram descascadas com auxílio de descascador manual de aço inoxidável e o fatiamento, na espessura de 3mm, foi realizado em Processador de Alimentos EL. Inox (marca SKYMPSEN, modelo PAIE, Brasil). As batatas-doces foram fritas em fritadeira SIRE 3000W (Indústria e Comércio Sire Ltda, Santo Amaro, SP) com 5 litros em cada cuba.

A oleína de palma refinada PN-6 e a estearina de palma foram doadas pelo grupo Agropalma. A caracterização das duas amostras foi realizada de acordo com as análises de: (i) composição em ácidos graxos; (ii) ácidos graxos livres; (iii) índice de peróxido; (iv) índice de iodo; (v) cor e (vi) umidade.

## 2.2 Composição em ácidos graxos

A análise da composição em ácidos graxos foi realizado por cromatografia gasosa - CGC AGILENT 6850 SERIES GC SYSTEM, após transesterificação utilizando  $\text{BF}_3$  como reagente, de acordo com as normas da AOCS (2004), método Ce 1-62. Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram separados de acordo com as normas da AOCS (2004), método Ca 2-66, em coluna capilar DB - 23 AGILENT (50% cyanopropyl-methylpolysiloxano) de dimensões 60m de comprimento, diâmetro interno de 0,25mm e 0,25 $\mu\text{m}$  filme. Inicialmente, a temperatura do forno foi de 110°C durante 5minutos, posteriormente, um aumento gradativo a cada minuto de 5°C, na faixa de temperatura de 110°C a 215°C, finalizando com uma temperatura de 215°C durante 24minutos; temperatura do detector: 280°C; temperatura do injetor 250°C; gás de arraste: hélio; razão split 1:50; volume injetado:1,0 $\mu\text{L}$ . A composição qualitativa foi determinada por comparação dos tempos de retenção dos picos com os dos respectivos padrões de ácidos graxos. A composição quantitativa foi realizada por normalização de área, sendo expressa como porcentagem em massa.

### 2.2.1 Ácidos graxos livres

O teor de ácidos graxos livres foi determinado segundo as normas da AOCS (2004), método Ca 5a-40.

### 2.2.2 Índice de peróxido

O índice de peróxido foi determinado segundo as normas da AOCS (2004), método Cd 8b-90.

### 2.2.3 Índice de iodo

O índice de iodo foi calculado a partir da composição em ácidos graxos, segundo as normas da AOCS (2004), método Cd 1c-85.

### 2.2.4 Cor

A cor Lovibond foi determinada através das normas da AOCS (2004), método Cc 13b-45.

### 2.2.5 Umidade

A medida da umidade foi realizada pelas normas da AOCS (2004), método Ca 2c-25.

## 2.3 Planejamento experimental para otimização do processo de fritura de chips de batata-doce em oleína ou estearina de palma

O processo de fritura de fatias de batata-doce foi avaliado de acordo com o delineamento composto central rotacional com 2 variáveis independentes ( $2^2 = 4$  ensaios + 4 pontos axiais + 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios) aplicável à metodologia de superfície de resposta a fim de otimizar o processo de fritura (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Cada variável foi estudada em 5 níveis diferentes, conforme mostrado na Tabela 8.1.

**Tabela 8.1** Níveis das variáveis independentes no planejamento experimental de fritura de fatias de batata-doce em oleína e estearina de palma.

<b>Variáveis Independentes</b>	<b>-1,41</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+1,41</b>
Temperatura (°C)	140	145	160	175	180
Tempo	3min	3min 15s	3min 30s	3min 45s	4min

As variáveis dependentes do processo a serem avaliadas foram: (i) umidade de acordo com o método nº 44-40 (AACC, 1995); (ii) cor (MACDOUGALL, 2002) e (iii) teor de óleo incorporado, segundo método Soxhlet 02-01 (AACC, 1995). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

A cor dos *chips* de batata-doce foi determinada em espectrofotômetro Hunter Lab, no sistema de leitura CIELab, utilizando calibração RSEX, iluminante D<sub>65</sub> e um ângulo de visão de 10° e expresso através do ângulo *hue*. As amostras foram trituradas e colocadas em cubeta de 25mm, e as leituras foram realizadas em quadruplicata.

O ângulo de tonalidade (*hue*) representa, neste estudo, o quão próximo do natural (amarelo) ou não, o produto se encontra. Para os *chips* de batata-doce deste estudo o ângulo *hue* não pode apresentar ângulo de 90°, pois seria o produto *in natura* (cru) e o ângulo também não deve ser menor que 45° que apresentaria uma coloração extremamente queimado. O cálculo do ângulo *hue* é realizado através da Equação 8.1 segundo MACDOUGALL (2002).

$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (8.1)$$

O objetivo do planejamento experimental foi obter uma minimização do teor de óleo incorporado e de umidade. Assim, foi realizada uma análise conjunta entre as superfícies obtidas com as respostas analisadas, a fim de se encontrar a região que melhor atendesse ao objetivo deste estudo.

## 2.4 Processo de fritura

As batatas-doces foram lavadas, descascadas, fatiadas na espessura de 3mm e fritas em fritadeira com oleína ou estearina de palma na proporção de 1:30 de batata e óleo, ou seja, para cada 3 L de óleo em cada cuba foram utilizados

100g de batata-doce em cada processo. A variação de temperatura utilizada foi de 140 a 180°C e o tempo de 3 a 4 minutos. Após serem retiradas da fritadeira, as batatas foram colocadas sobre papel toalha com a finalidade de drenar o excesso de óleo.

### **3 Resultados e discussão**

#### **3.1 Caracterização da oleína e estearina de palma**

A composição de ácidos graxos em oleína e estearina de palma pode ser observada pelas Tabela 8.42 e Tabela 8.53, respectivamente.

A oleína de palma apresenta alto teor de ácidos graxos insaturados (57,38%), dos quais o ácido oléico contribui com 45,98%. A porcentagem de ácidos graxos saturados é de 42,62%, com 36,30% de ácido palmítico. Os valores apresentados na Tabela 8.2 são muito semelhantes ao laudo cedido pelo grupo Agropalma (AGROPALMA, 2008), no entanto, para o óleo de palma estudado por WADA (2007) foi observado um valor 18,3% superior no teor de ácido palmítico (42,90%) e um valor 12% inferior para o teor de ácido oléico (41%).

A estearina de palma apresenta alto teor de ácidos graxos saturados (63,26%), dos quais o ácido palmítico contribui com 55,50%. A porcentagem de ácidos graxos insaturados é de 36,74%, com 30,46% de ácido oléico. Os valores apresentados na Tabela 8.3 são muito semelhantes aos encontrados no estudo de WADA (2007) com estearina de palma e ao laudo cedido pelo grupo Agropalma (AGROPALMA, 2008), só foi observado valores inferiores de ácido láurico (0,56%) e de ácido mirístico (1,27%).

**Tabela 8.2** Composição em ácidos graxos de oleína de palma.

Ácido Graxo		OP (%)	A (%)	Opa (%)
8:0	Caprílico	0,03	-	-
10:0	Cáprico	0,04	-	-
12:0	Láurico	0,46	0,30	-
14:0	Mirístico	0,93	1,00	0,9
16:0	Palmítico	36,30	37,00	42,90
16:1n-7	Palmitoléico	0,17	0,30	0,10
17:0	Margárico	0,09	-	-
17:1n-7	Margaroléico	0,03	-	-
18:0	Esteárico	4,30	4,00	5,00
18:1n-9	Oléico	45,98	46,00	41,00
t,t-18:2n-6	Linolelaídico	0,12	-	-
18:2n-6	Linoléico	10,53	10,80	9,30
18:3n-3	Alfa-Linolênico	0,26	-	0,20
20:0	Araquídico	0,40	0,30	0,40
20:1n-11	Gadoléico	0,18	-	0,10
22:0	Behênico	0,07	-	-
24:0	Lignocérico	0,11	-	-
Σ Saturado (%)	-	42,62	42,5	49,2
Σ Insaturado (%)	-	57,38	57,5	50,8

OP: Oleína de Palma; A: Agropalma (AGROPALMA, 2008), Opa: Óleo de Palma (WADA, 2007). Os resultados foram expressos em porcentagem de área relativa.

**Tabela 8.3** Composição em ácidos graxos de estearina de palma.

Ácido Graxo	EP	A (%)	EPa (%)	
8:0	Caprílico	0,04	-	-
10:0	Cáprico	0,04	-	-
12:0	Láurico	0,56	0,20	0,40
14:0	Mirístico	1,27	0,70	1,20
16:0	Palmítico	55,50	54,20	54,5
16:1n-7	Palmitoléico	0,10	0,20	0,10
17:0	Margárico	0,13	-	-
17:1n-7	Margaroléico	0,03	-	-
18:0	Esteárico	5,25	6,00	5,50
18:1n-9	Oléico	30,46	32,30	31,30
t,t-18:2n-6	Linolelaídico	0,28	-	-
18:2n-6	Linoléico	5,59	6,00	6,40
18:3n-3	Alfa-Linolênico	0,08	-	0,10
20:0	Araqúidico	0,39	0,40	0,50
20:1n-11	Gadoléico	0,11	-	-
22:0	Behênico	0,08	-	-
24:0	Lignocérico	0,09	-	-
Σ Saturado (%)	-	63,26	61,5	62,0
Σ Insaturado (%)	-	36,74	38,5	38,0

EP: Estearina de Palma; A: Agropalma (AGROPALMA, 2008); Epa: Estearina de Palma (WADA, 2007). Os resultados foram expressos em porcentagem de área relativa.

O teor de ácidos graxos livres de oleína e estearina de palma encontrados foram baixos e semelhantes aos relatados no laudo técnico do grupo Agropalma (Tabela 8.4), no entanto, o índice de peróxido, que representa a oxidação lipídica

da oleína e da estearina de palma foram bem superiores aos valores cedidos pela empresa. Em países como França, Suíça, Estados Unidos e Chile foram criadas leis e regulamentações que estabelecem o descarte do óleo para valores superiores a 1,0% de ácidos graxos livres (MONFERRER; VILLALTA, 1993). As normas que regulamentam a adequação de um óleo para o consumo no Brasil (Resolução nº 482/99 - ANVISA), estabelecem para os óleos de algodão, girassol e palma refinados 10 meq/Kg para índice de peróxidos (BRASIL, 1999), o que inutilizaria a estearina de palma com valor de 36,9meq/Kg.

O índice de iodo, que avalia o grau de insaturação dos ácidos graxos, está de acordo com o laudo do grupo Agropalma. As análises de cor e umidade não foram cedidas no laudo do grupo Agropalma, no entanto, foram realizadas com o intuito de caracterização da oleína e estearina de palma.

**Tabela 8.4** Características físico-químicas de oleína e estearina de palma.

Características	Oleína de Palma		Estearina de Palma	
	Valores*	AGROPALMA (2008)	Valores*	AGROPALMA (2008)
AGL	0,10	0,05	0,06	0,05
IP	7,4	1,0	36,9	1,0
Índice de Iodo (%)	58,8	59,0	36,3	36,9
Cor Lovibond	20,0Y / 1,0R	n.d.	6,9Y / 0,9R	n.d.
Umidade (%)	0,06	n.d.	0,04	n.d.

AGL = ácidos graxos livres = % ácido oléico

IP = índice de peróxido = meq O<sub>2</sub>/ kg

\* valores obtidos pelas análises realizadas no presente estudo.

### 3.2 Otimização do processo de fritura em oleína ou estearina de palma

Os dados experimentais para a umidade, cor (ângulo de tonalidade) e teor de óleo incorporado, durante o processo de fritura de *chips* de batata-doce em oleína de palma encontram-se na Tabela 8.5 e para estearina de palma na Tabela 8.6.

Os menores valores de temperatura no processo de fritura em oleína ou estearina de palma proporcionaram maiores teores de umidade e maiores valores do ângulo de tonalidade, ou seja, os *chips* de batata-doce apresentaram-se com uma coloração mais próxima da batata-doce *in natura* (amarelo), no entanto, estes *chips* de batata-doce apresentaram-se crus, característica identificada por degustação das amostras realizadas pelos autores.

Na otimização do processo de fritura de maçãs em gordura especial Cukin fry (Bunge) também foi verificado que quanto mais próximo do natural a coloração, maior o teor de umidade das maçãs (QUERIDO, 2005).

O ensaio 8 apresentou o maior teor de óleo incorporado tanto na oleína, como na estearina de palma, fato que pode ser explicado devido ao maior tempo de permanência dos *chips* de batata-doce imersos no óleo.

Em estudos sobre determinação do teor de óleo em batatas durante fritura intermitente após vários tempos de fritura e diferentes temperaturas, relataram que a absorção de óleo nas batatas aumentou com o tempo de fritura em todas as temperaturas (SAHIN et al., 2000).

O teor médio de incorporação de óleo nos *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma foi de 14,79%, resultado 81,8% inferior ao encontrado por QUERIDO (2005) na incorporação de óleo em fatias de maçãs que foi de 26,88%. Nos *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma, o teor médio de incorporação foi de 15,45%, resultado superior ao encontrado para *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma. A maior incorporação de óleo em *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma pode ser justificada pela maior quantidade de ácido graxo saturado em sua composição, como verificado em

estudo com batata em óleo de soja e gordura hidrogenada. A gordura hidrogenada, após o processo de fritura, além da incorporação no interior do vegetal permanece na superfície do produto, aumento com isso o teor total de óleo no produto final (DAMY, 2001).

**Tabela 8.5** Delineamento experimental para *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes		
	Temperatura (°C)	Tempo	Umidade (%)	Cor (hue)	Teor de Óleo (%)
1	145 (-1)	3m 15s(-1)	31,21	85,70	13,7
2	175 (+1)	3m 15s (-1)	7,13	73,56	12,9
3	145 (-1)	3m 45s(+1)	20,01	84,37	15,3
4	175 (+1)	3m 45s(+1)	3,03	68,51	14,6
5	140 (-1,41)	3m 30s (0)	34,17	86,10	14,0
6	180 (+1,41)	3m 30s (0)	4,78	64,21	13,3
7	160 (0)	3m (-1,41)	10,06	80,61	16,4
8	160 (0)	4m (+1,41)	4,48	70,41	19,1
9	160 (0)	3m 30s (0)	6,78	77,98	13,9
10	160 (0)	3m 30s (0)	7,44	76,66	15,1
11	160 (0)	3m 30s (0)	8,07	79,03	14,4

\* Os números entre parênteses são os valores codificados das variáveis independentes.

**Tabela 8.6** Delineamento experimental para *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes		
	Temperatura (°C)	Tempo	Umidade (%)	Cor (hue)	Teor de Óleo (%)
1	145 (-1)	3m 15s(-1)	19,44	86,53	13,4
2	175 (+1)	3m 15s (-1)	3,21	71,39	15
3	145 (-1)	3m 45s(+1)	26,67	85,10	15,5
4	175 (+1)	3m 45s(+1)	1,08	66,03	15,7
5	140 (-1,41)	3m 30s (0)	28,81	85,34	13,8
6	180 (+1,41)	3m 30s (0)	3,47	66,13	13,1
7	160 (0)	3m (-1,41)	17,61	79,23	15,9
8	160 (0)	4m (+1,41)	13,47	71,95	19,1
9	160 (0)	3m 30s (0)	11,12	77,41	16,3
10	160 (0)	3m 30s (0)	12,73	78,62	15,8
11	160 (0)	3m 30s (0)	14,21	76,54	16,4

\* Os números entre parênteses são os valores codificados das variáveis independentes.

### 3.2.1 Umidade

Os efeitos das variáveis independentes sobre a umidade de *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma estão apresentados na Tabela 8.7 e Tabela 8.8, respectivamente. Em negrito, estão destacados os efeitos dos fatores que são significativos. Para a oleína de palma, os fatores significativos foram: média, temperatura (L), temperatura (Q) e tempo (L). Na fritura utilizando a estearina de palma, os fatores significativos foram: média e temperatura (L), admitindo um intervalo de confiança de 95%, ou seja, um nível de significância de 5% para a análise através do Erro Padrão (MS Residual).

**Tabela 8.7** Efeitos das variáveis independentes sobre a umidade de *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma ( $R^2 = 0,98$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>7,4223</b>	<b>1,0045</b>	<b>0,0007</b>
<b>Temperatura (L)</b>	<b>-20,6865</b>	<b>1,2321</b>	<b>0,0000</b>
<b>Temperatura (Q)</b>	<b>13,0990</b>	<b>1,4702</b>	<b>0,0002</b>
<b>Tempo (L)</b>	<b>-5,8092</b>	<b>1,2321</b>	<b>0,0052</b>
Tempo (Q)	0,8210	1,4702	0,6006
Temperatura x Tempo	3,5500	1,7399	0,0968

**Tabela 8.8** Efeitos das variáveis independentes sobre a umidade de *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma ( $R^2 = 0,94$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>12,6996</b>	<b>1,7358</b>	<b>0,0007</b>
<b>Temperatura (L)</b>	<b>-19,4452</b>	<b>2,1291</b>	<b>0,0002</b>
Temperatura (Q)	1,8219	2,5406	0,5054
Tempo (L)	-0,1849	2,1291	0,9341
Tempo (Q)	1,2183	2,5406	0,6518
Temperatura x Tempo	-4,6800	3,0066	0,1803

O efeito estimado de uma variável indica o quanto esta exerce influência sobre a resposta. Desta forma, quanto maior for o seu valor, maior será a sua influência sobre a resposta. Um efeito positivo sobre a resposta indica que, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, o valor da resposta aumenta. No caso do efeito ser negativo, indicará uma diminuição da resposta.

O parâmetro que exerceu maior influência foi a temperatura (L), tanto para os *chips* de batata-doce fritos em oleína, como os fritos em estearina de palma. O aumento da temperatura acarretou em uma diminuição da umidade dos *chips* de batata-doce, fato também verificado por TOREZAN (2005) na otimização do processo de fritura em *chips* de manga.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se pela análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 8.9.

BARROS NETO et al. (2003), sugeriram que para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também útil para fins preditivos, o valor de F calculado para a regressão deve ser no mínimo de quatro vezes o valor de F tabelado. Essa condição é amplamente satisfeita nesse estudo.

Através da análise de variância, verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido para o modelo ajustado foi de 0,97 para oleína e 0,91 para estearina de palma, indicando que o modelo explica 97% e 91%, respectivamente, da variação dos dados observados.

**Tabela 8.9** Análise de variância para a umidade de *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma.

	Umidade em oleína de palma	Umidade em estearina de palma
<b>F calculado</b>	95,48	93,54
<b>F tabelado</b>	4,35	5,12
<b>R<sup>2</sup></b>	0,97	0,91
<b>Equação</b>	$7,42 - 10,34*T + 6,54*T^2 - 2,90*TE$	$12,69 - 9,72*T$

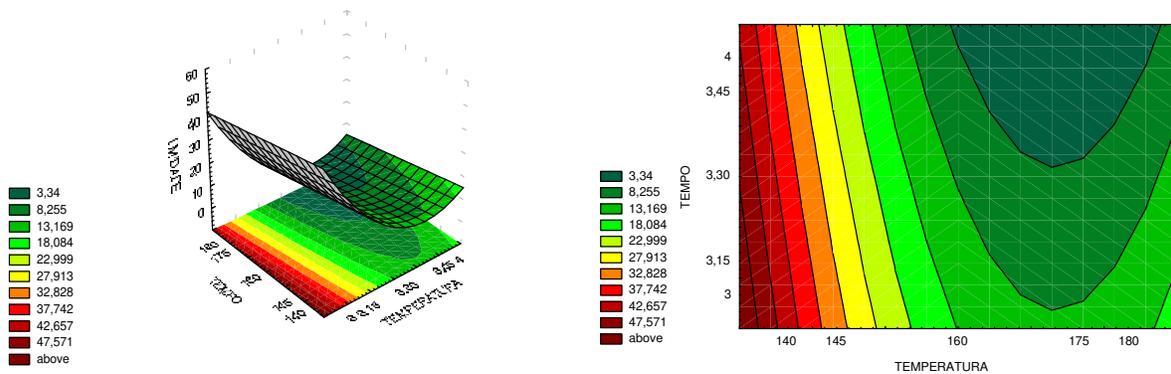
T = temperatura; TE = tempo

O modelo codificado proposto para representar a umidade dos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma, estão apresentados pelas equações na Tabela 8.9.

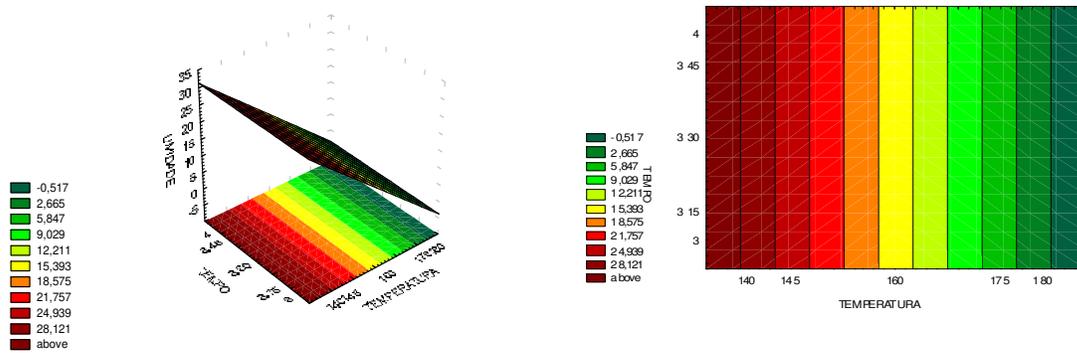
A superfície de resposta e a respectiva curva de contorno, gerada pelo modelo para a umidade de *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma, encontram-se representadas na Figura 8.1 e Figura 8.2.

A umidade deve ser inferior a 7% (limite máximo para obtenção da crocância), de acordo com estudo de QUERIDO (2005) ao avaliar fatias na espessura de 3mm de *chips* de maçãs fritas. Em estudo com batata-frita, na espessura de 3mm, a umidade ideal foi ao redor de 9,13% (JORGE; LUNARDI, 2005).

O tempo não influenciou a umidade dos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma (Figura 8.1 e 8.2). Para obtenção de *chips* de batata-doce com teor de umidade inferior a 9%, a temperatura de fritura utilizada deve ser superior a 160°C para oleína de palma e superior a 170°C para estearina de palma.



**Figura 8.1** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da umidade em função da temperatura e do tempo dos *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma.



**Figura 8.2** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da umidade em função da temperatura e do tempo para *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma.

### 3.2.2 Cor

Os efeitos das variáveis independentes sobre a cor de *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma estão apresentados nas Tabela 8.10 e 8.11. Em **negrito**, estão os efeitos dos fatores que são significativos para oleína e estearina de palma.

**Tabela 8.10** Efeitos das variáveis independentes sobre a cor de *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma ( $R^2 = 0,94$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>77,8792</b>	<b>1,3370</b>	<b>0,0000</b>
<b>Temperatura (L)</b>	<b>-14,7601</b>	<b>1,6400</b>	<b>0,0002</b>
Temperatura (Q)	-1,3735	1,9569	0,5140
<b>Tempo (L)</b>	<b>-5,2060</b>	<b>1,6400</b>	<b>0,0246</b>
Tempo (Q)	-1,0164	1,9569	0,6256
Temperatura x Tempo	-1,8600	2,3158	0,4583

**Tabela 8.11** Efeitos das variáveis independentes sobre a cor de *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma ( $R^2 = 0,97$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>77,5169</b>	<b>0,9980</b>	<b>0,0000</b>
<b>Temperatura (L)</b>	<b>-15,3698</b>	<b>1,2241</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (Q)	-0,9823	1,4607	0,5311
<b>Tempo (L)</b>	<b>-4,2764</b>	<b>1,2241</b>	<b>0,0174</b>
Tempo (Q)	-1,1281	1,4607	0,4748
Temperatura x Tempo	-1,9650	1,7286	0,3071

O parâmetro que exerceu maior influência foi a média seguida da temperatura (L) e do tempo (L) tanto para a oleína, quanto para a estearina de palma. Um aumento no valor da temperatura no processo de fritura em oleína e estearina de palma promove uma diminuição do valor do ângulo de tonalidade, ou seja, os *chips* de batata-doce apresentam coloração diferente da coloração natural (amarelo), ou seja, tendendo para o quadrante do laranja.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se pela análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 8.12.

**Tabela 8.12** Análise de variância para a cor de *chips* de batata-doce frito em oleína e estearina de palma.

	Cor em oleína de palma	Cor em estearina de palma
<b>F calculado</b>	58,32	95,58
<b>F tabelado</b>	4,46	4,46
<b>R<sup>2</sup></b>	0,93	0,95
<b>Equação</b>	77,87 – 7,38*T – 2,60*TE	77,51 – 7,68*T – 2,13*TE

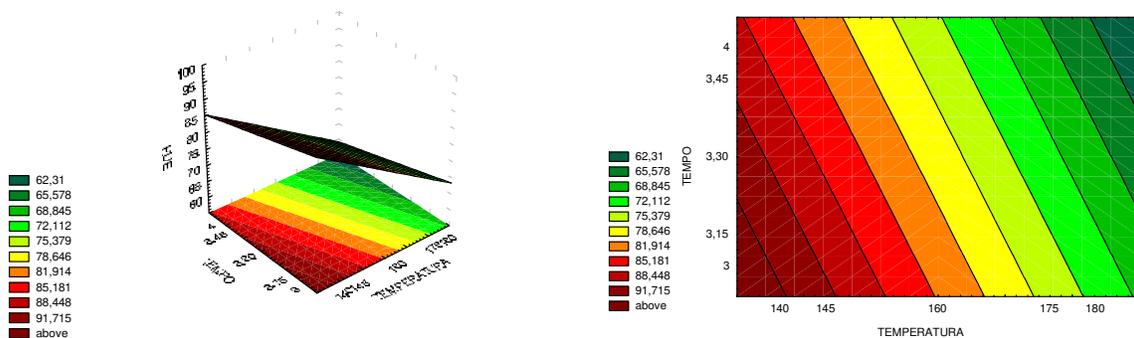
T = temperatura; TE = tempo

Através da análise de variância, verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido para o modelo ajustado foi de 0,93 para oleína e 0,95 para estearina de palma, indicando que o modelo explica 93% e 95%, respectivamente, da variação dos dados observados.

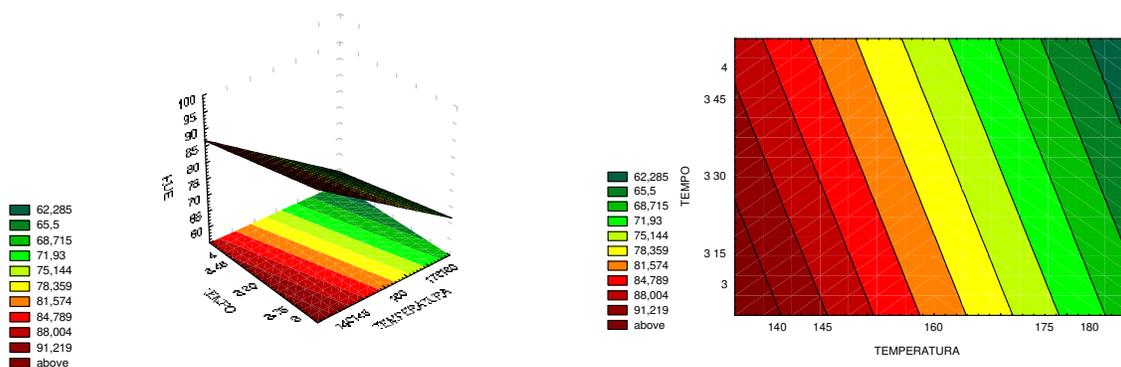
O modelo codificado proposto para representar a cor dos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma, estão apresentados pelas equações na Tabela 8.12.

A superfície de resposta e a respectiva curva de contorno geradas pelo modelo para a cor de *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma encontram-se representada na Figura 8.3 e Figura 8.4.

A coloração ideal e aceita para os *chips* de batata-doce seria quando o valor ângulo de tonalidade estiver entre 74 e 80, para os *chips* não apresentarem coloração de queimado ou coloração de cru. Com isso, a temperatura deve estar compreendida entre 160 e 175°C, sendo que o tempo foi indiferente no processo de fritura dos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma.



**Figura 8.3** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da cor em função da temperatura e tempo dos *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma.



**Figura 8.4** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da cor em função da temperatura e tempo de *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma.

### 3.2.3 Teor de óleo incorporado

Os efeitos das variáveis independentes sobre o teor de óleo incorporado de *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma estão apresentados na Tabela 8.13 e Tabela 8.14. Em negrito, estão os efeitos dos fatores que são significativos para oleína e estearina de palma.

**Tabela 8.13** Efeitos das variáveis independentes sobre o teor de óleo incorporado de *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma ( $R^2 = 0,80$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>14,4729</b>	<b>0,6202</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (L)	-0,6231	0,7608	0,4497
Temperatura (Q)	-1,6237	0,9078	0,1337
<b>Tempo (L)</b>	<b>1,7820</b>	<b>0,7608</b>	<b>0,0661</b>
<b>Tempo (Q)</b>	<b>2,5007</b>	<b>0,9078</b>	<b>0,0400</b>
Temperatura x Tempo	0,050	1,0743	0,9646

**Tabela 8.14** Efeitos das variáveis independentes sobre o teor de óleo incorporado de *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma ( $R^2 = 0,92$ ).

Fator	Efeito	Erro padrão	p
<b>Média</b>	<b>16,1689</b>	<b>0,3832</b>	<b>0,0000</b>
Temperatura (L)	0,2038	0,4701	0,6826
<b>Temperatura (Q)</b>	<b>-3,0223</b>	<b>0,5609</b>	<b>0,0029</b>
<b>Tempo (L)</b>	<b>1,8334</b>	<b>0,4701</b>	<b>0,0114</b>
Tempo (Q)	1,0519	0,5609	0,1196
Temperatura x Tempo	-0,7000	0,6638	0,3399

O parâmetro que exerceu maior influência nos *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma foram: a média, seguida do tempo (Q) e do tempo (L). Para a estearina de palma, o parâmetro que exerceu maior influência foi a média, seguida da temperatura (Q) e do tempo (L).

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se pela análise de variância (ANOVA) a significância da regressão e do resíduo ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 8.15.

**Tabela 8.15** Análise de variância para a incorporação de óleo em *chips* de batata-doce frito em oleína e estearina de palma.

	Incorporação de óleo em OP	Incorporação de óleo em EP
<b>F calculado</b>	7,75	21,88
<b>F tabelado</b>	4,46	4,46
<b>R<sup>2</sup></b>	0,65	0,84
<b>Equação</b>	$14,47 + 0,89*TE + 1,25*TE^2$	$16,16 - 1,51*T^2 + 0,91*TE$

OP = oleína de palma; EP = estearina de palma.

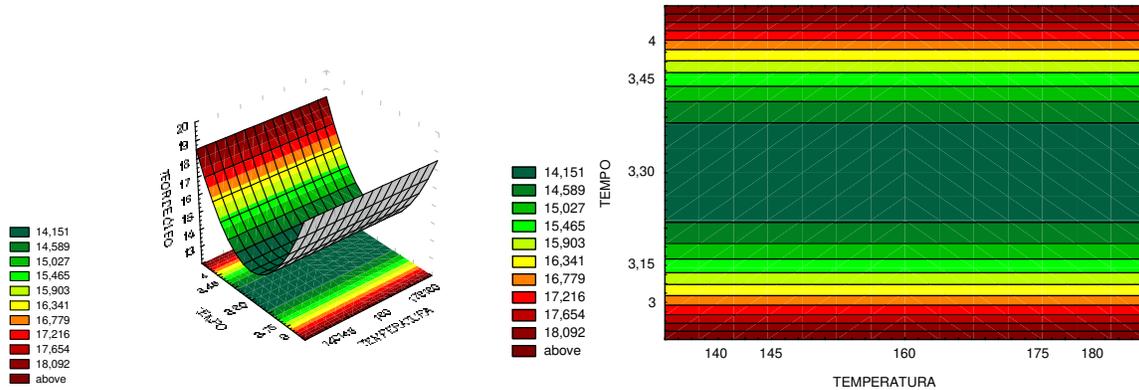
T = temperatura; TE = tempo.

Através da análise de variância, verifica-se que o modelo apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido para o modelo ajustado foi de 0,65 para oleína de palma e 0,84 para estearina de palma, indicando que o modelo explica 65% e 84% da variação dos dados observados.

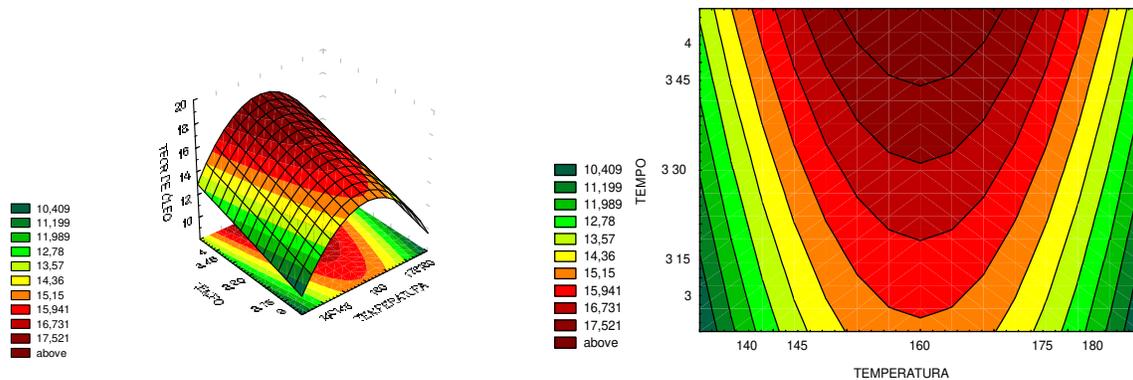
Os modelos codificados propostos para representar o teor de óleo incorporado nos *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma estão apresentados pelas equações na Tabela 8.15.

A superfície de resposta e a respectiva curva de contorno geradas pelo modelo para a incorporação de óleo em *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma encontram-se na Figura 8.5 e Figura 8.6.

A menor incorporação de óleo para *chips* de batata-doce fritos em oleína e estearina de palma foi obtida quando o tempo de fritura foi de 3min e 30s. A temperatura não influenciou a incorporação de óleo nos *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma, no entanto, para *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma a temperatura deve ser inferior a 140°C ou superior a 180°C.



**Figura 8.5** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da incorporação de óleo em função da temperatura e do tempo de *chips* de batata-doce fritos em oleína de palma.



**Figura 8.6** Superfície de resposta e respectiva curva de contorno da incorporação de óleo em função da temperatura e do tempo de *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma.

Através da análise conjunta das superfícies de contato e áreas de contorno das variáveis dependentes (umidade, cor e teor de óleo incorporado) o ponto ótimo de otimização do processo de fritura de *chips* de batata-doce frito em oleína de palma foi: (i) temperatura de 160°C e (ii) tempo de 3 minutos e 30 segundos, ou seja, o ponto central do delineamento composto central rotacional. Os *chips* de

batata-doce fritos em oleína de palma apresentaram umidade de 7,43% e teor de óleo final no produto de 14,46%. Para a estearina de palma, o ponto ótimo de otimização foi: (i) temperatura de 180°C e (ii) tempo de 3 minutos e 30 segundos. Os *chips* de batata-doce fritos em estearina de palma apresentaram umidade de 3,47% e teor de óleo final no produto de 13,1%.

#### 4 Conclusão

As melhores condições operacionais do processo de fritura de *chips* de batata-doce frito em oleína de palma visando a minimização do teor de óleo incorporado e de umidade foi: (i) temperatura de 160°C e (ii) tempo de 3 minutos e 30 segundos. Para a otimização do processo de fritura em estearina de palma, o tempo ótimo foi o mesmo encontrado para a oleína de palma, no entanto, a temperatura foi de 180°C.

#### 5 Referências bibliográficas

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed., Saint Paul: AACC, 1995.

AGROPALMA: **Oleína de Palma PN 6 e Estearina de Palma**. Disponível em <<http://www.agropalma.com.br>>. Acesso em: 25 de setembro de 2008.

AOCS, AMERICAN OIL CHEMIST'S SOCIETY. Official methods and recommended practices of the AOCS. 4<sup>a</sup> ed. Champaign, 1997; 2004.

BARROS NETO, B. De, SCARMÍNIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, Editora da UNICAMP, 2<sup>a</sup> edição, 2003.

BLUMENTHAL, M.M. Frying technology. In: BAILEY, A.E. **Bailey's industrial oil & fat products**. New York: John Wiley, v.3, p.429-481, 1996.

BRASIL. Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), v.196. Seção I, p.82-87. 13 de outubro de 1999.

CELLA, R.C.F.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.111-116, 2002.

DAMY, P.C. **Alterações físico-químicas de óleo de soja e de gordura hidrogenada durante o processo de fritura descontínua de batatas.** 2001. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2001.

GIESE, J. Fats, oil and fat replacers: Fats and oils play vital function and sensory roles in food products. **Food Technology**, Chiacago, v.50, n.4, p.78-83, 1996.

JORGE, N.; LUNARDI, V.M. Influência dos tipos de óleos e tempos de frituras na perda de umidade e absorção de óleo em batatas fritas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.3, p.635-641, 2005.

KUPRANYCS, D.B.; AMER, M.A.; BAKER, B.E. Effects of thermal oxidation on the constitution of butterfat, butterfat fractions and certain vegetable oils. **Journal American Oil Chemistry Societe**, 63 (3):332-337, 1986.

MACDOUGALL, D.B. Colour measurement of food. **Woodhead Publishing Limited and CRC Press**, LLC, cap.3, 2002.

MONFERRER, A.; VILLALTA, J. La fritura desde um punto de vista práctico (I). **Alimentación, Equipos y Tecnologia**, [S.1.], v.21, n.3, p.85-90, 1993.

MOREIRA, R.G.; CASTELL-PEREZ, M.E.; BARRUFET, M.A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications.** Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 350p.

PAUL, S.; MITTAL, G.S. regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v.37, n.7, p.635-662, 1997.

QUERIDO, A.F. Estudo de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã. 2005. 219p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos.** 1ª edição, Casa do Pão Editora, Campinas, SP, 326p. 2005.

SAHIN, S. ; SUDHIR, K.S. ; LEVENT, B. Combined effects of frying parameters and oil content on moisture levels in french fries. **Journal Food Science and Technology**, Trivandrum, v.37, n.5, p.557-560, 2000.

SMITH, L.M.; CLIFFORD, A.J.; CREVELING, R.; HAMBLIN, C.L. Lipidic content and fatty acid profiles of various deep-fat fried foods. **Journal American Oil Chemistry Society**, s.1, v.62, p.996-999, 1985.

TFOUNI, S.A.V.; MACHADO, R.M.D.; GARCIA, L.C.; AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. Batata chips e palha. **Agronegócio 3.** Campinas: ITAL, 73p. 2003.

TOREZAN, G.A.P. Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga. 2005. 269p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VITRAC. O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A.L. Produits frits a base de manioc en olombie: aptitude clonale et relation procedé/qualité. **Récents Progrés em Génie des Procédés.** v.11, n.59, p.113-120, 1997.

VITRAC, O.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A.L. Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. **European Journal of Lipid Technology**, v.102, p.529-538, 2000.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A.L. Characterisation of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. **Journal of Food Engineering**, v.53, p.161-176, 2002.

WADA, J.K.A. **Produção de gorduras alimentícias zero *trans* utilizando óleo de palma, estearina de palma e óleo de soja totalmente hidrogenado**. 2007. 155p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2007.



**CAPÍTULO 9 - EFEITO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E  
COBERTURAS COMESTÍVEIS ANTES DO PROCESSO DE  
FRITURA NA QUALIDADE DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE**

---

FONTES, L.C.B.; OLIVEIRA, F.G.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Pré-tratamento por desidratação osmótica e aplicação de coberturas comestíveis na qualidade de *chips* de batata-doce obtidos por processo de fritura. XVI Encontro Nacional e II Congresso Latino-Americano de Analistas de Alimentos, ENAAL, realizado em Belo Horizonte, MG, no período de 19 a 23 de julho de 2009.



## CAPÍTULO 9

### EFEITO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E COBERTURAS COMESTÍVEIS ANTES DO PROCESSO DE FRITURA NA QUALIDADE DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Felipe Gomes OLIVEIRA; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de desidratação osmótica e aplicação de coberturas comestíveis à base de pectina, alginato ou metilcelulose visando à minimização de incorporação de óleo, após o processo de fritura de *chips* de batata-doce. As batatas-doces foram, inicialmente, lavadas, descascadas e fatiadas na espessura de 3mm. No processo de desidratação osmótica, a solução desidratante foi composta de: (i) glicerol/cloreto de cálcio e (ii) xarope de glicose, nas respectivas proporções, 30%, 1% e 63,75%. A solução de glicerol/CaCl<sub>2</sub> e xarope de glicose foi preparada na proporção de 1:5. A desidratação osmótica foi realizada em banho termostático, utilizando rotação de 90rpm, temperatura de 48°C e tempo de 120 minutos. As três coberturas comestíveis avaliadas foram formadas à partir de soluções de pectina de baixa metoxilação (4,0%), alginato de sódio (2,0%) ou metilcelulose (2,0%). As fatias de batatas-doces desidratadas e recobertas foram fritas em fritadeira elétrica com oleína de palma na proporção de 1:30 (batata-doce:óleo), temperatura de 160°C e tempo de 3 minutos e 30 segundos. O tratamento mais eficiente para minimizar o teor de óleo incorporado nos *chips* de batata-doce foi a utilização combinada dos processos de desidratação osmótica e aplicação de cobertura de metilcelulose reduzindo em 55,78% a absorção de óleo em relação ao tratamento controle com teor de óleo final no produto de 15,2%.

**Palavras-chave:** desidratação osmótica, coberturas comestíveis, oleína de palma, fritura e *chips* de batata-doce.

## 1 Introdução

A utilização da desidratação osmótica como pré-tratamento à fritura vem sendo estudada por diversos pesquisadores. A desidratação parcial do material reduz o teor de água inicial e, portanto, o tempo do processo subsequente de fritura, juntamente com a impregnação por soluto, que possui um efeito positivo na diminuição da incorporação de óleo pelo produto, resultando em produtos fritos de melhor qualidade (TOREZAN, 2005).

Estudo realizado em *chips* de banana, utilizando solução osmótica de 20% de glicose e cloreto de sódio como pré-tratamento à fritura, reduziu a incorporação de óleo pela metade, após o processo de fritura em óleo de girassol (IKOKO; KURI, 2007).

KROKIDA et al. (2001) estudaram o uso da desidratação osmótica como pré-tratamento à fritura com o objetivo de produzir batata frita. Foram utilizados 4 tipos de solução osmótica: glicose (40%), NaCl (20%), maltodextrina DE 12 (20%) e maltodextrina DE 21 (20%), à temperatura de 40°C durante 3 horas. Em seguida, o material foi submetido à fritura, a temperatura de 170°C, e retirado após os tempos de 0,3; 0,6; 1; 3; 5; 7; 10; 13 e 15 minutos. A utilização de solução de 40% de glicose reduziu em 60% a incorporação de óleo, enquanto que a solução de 20% de cloreto de sódio, 20% de maltodextrina-12 e 20% de maltodextrina-21 minimizou em, 35%, 20% e 15% respectivamente.

Estudo utilizando desidratação osmótica antes do processo de fritura para fatias de batata foi conduzido em banho com temperatura de 30°C, agitação 30 rpm, durante 15 minutos e solução desidratante de sacarose e cloreto de sódio, na proporção 4:1. Após o processo osmótico de desidratação, foram submetidas à fritura em óleo de girassol, nas temperaturas de 160, 170 e 180°C. Os autores verificaram uma diminuição da incorporação de óleo de 15% (temperatura de 180°C), e atribuíram esta redução à formação de uma barreira sólida de soluto

durante o pré-tratamento osmótico, permeável à saída de vapor, mas que dificulta a entrada de óleo no processo de fritura (MOYANO; BERNA, 2002).

As coberturas mais utilizadas para reduzir a migração do óleo para o alimento no processo de fritura são os hidrocolóides, os lipídios ou a combinação de ambos. Os hidrocolóides são especialmente interessantes, pois possuem boa propriedade de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídios (WILLIAMS; MITTAL, 1999). Dentre os hidrocolóides mais utilizados como coberturas estão as proteínas, derivados de celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos. Dois critérios são importantes para a escolha de um material que possa ser utilizado como barreira para incorporação de óleo no produto durante a fritura, permeabilidade ao óleo e resistência a altas temperaturas (ALBERT; MITTAL, 2002).

A pectina é solúvel em água a 60°C e forma uma solução viscosa, no entanto, é preciso cuidado ao dispersar o pó rapidamente em água, evitando assim a formação de grumos que são de difícil dissolução. Quando submetida a condições pouco ácidas (pH 5,0 ou acima) ou a temperaturas elevadas, as pectinas podem ser facilmente degradadas (MAY, 1997).

Os biofilmes de pectina reduzem: (i) a migração de água (KESTER; FENNEMA, 1986); (ii) as trocas gasosas e (iii) a migração de óleo (ALBERT; MITTAL, 2002).

KHALIL (1999) estudou diversas concentrações de coberturas de pectina 1; 2; 3; 4; 5 e 6% com cloreto de cálcio nas concentrações de 0; 0,1; 0,3; 0,5 e 0,7%. A combinação que apresentou menor teor de óleo e boas características sensoriais nas batatas foi a composta por solução de 5% de pectina e 0,5% de cloreto de cálcio que reduziu o teor de óleo incorporado nas batatas em 40%.

Estudo utilizando cobertura de pectina nas concentrações 1, 2 e 3% em *chips* de maçãs mostraram-se eficientes quando utilizadas como coberturas

comestíveis imediatamente antes do processo de fritura na concentração de 2%, reduzindo em 60% a incorporação de óleo do produto final (QUERIDO, 2005).

O uso de cobertura de pectina, na concentração de 1%, em *chips* de banana minimizou a incorporação de óleo em 43,11% em relação aos *chips* de banana sem cobertura (SINGTHONG; THONGKAEW, 2009).

O alginato é um polissacarídeo com característica hidrofílica e, devido a essa natureza, as coberturas formadas possuem alta permeabilidade ao vapor d'água (BALDWIN et al., 1997). Uma vantagem do alginato é o fato dele poder ser dissolvido em água, formando soluções de diversas viscosidades e diferentes perfis reológicos (ZACTITI, 2004).

Coberturas de alginato são boas barreiras ao oxigênio (WHISTLER; BEMILLER, 1997), podendo retardar a oxidação lipídica dos alimentos e melhorar o sabor, textura e a adesão (KESTER; FENNEMA, 1986).

Coberturas de alginato de sódio, na concentração de 2%, foram utilizadas em *chips* de maçãs antes do processo de fritura e foi observado uma redução de 60% de incorporação de óleo no produto final (QUERIDO, 2005).

O uso de cobertura de alginato, na concentração de 1%, em *chips* de banana minimizou a incorporação de óleo em 6,06% em relação ao *chips* de banana sem cobertura (SINGTHONG; THONGKAEW, 2009).

A celulose e os seus derivados, que incluem éteres e ésteres são, juntamente com o amido, fontes de grande importância na produção de coberturas comestíveis. Um dos tipos de celulose modificada é a metilcelulose, que é um composto solúvel em água (DONHOWE; FENNEMA, 1993; PARK et al., 1993).

De acordo com CARULO (2005), as coberturas de metilcelulose têm função de reduzir: (i) a permeabilidade ao dióxido de carbono e ao oxigênio; (ii) a degradação do óleo; (iii) a perda da umidade e (iii) a absorção de óleo.

MALLIKARJUNAN et al. (1997), utilizando batatas maceradas em formato esférico de 47mm de diâmetro, estudaram o efeito de coberturas de zeína de milho, metoximetilcelulose e metilcelulose, conseguindo uma redução do teor de óleo de 59; 61,4 e 83,65%, respectivamente.

A utilização de coberturas de metilcelulose em *chips* de batata e discos de massa de farinha de trigo, na concentração de 1%, minimizou a incorporação de óleo em 40,6 e 35,2%, respectivamente, em comparação com as amostras sem coberturas (GARCIA et al., 2002).

BERTOLINI SUÁREZ et al. (2008), estudando o uso de coberturas de metilcelulose na concentração de 1%, em discos de massa de farinha de trigo, observaram que a cobertura reduziu em 30% a absorção de óleo, comparando ao tratamento sem cobertura.

A obtenção de *chips* de batata-doce de boa qualidade, com desenvolvimento controlado de sabor, aroma, cor e textura característicos, aliado à baixa incorporação de óleo e máxima perda de água, requer uma otimização dos parâmetros do processo de fritura, principalmente tempo e temperatura (TFOUNI et al., 2003). Altas temperaturas aceleram reações de escurecimento não enzimático, degradação de compostos de aroma e vitaminas. Assim, a redução do tempo de residência do produto no óleo de fritura, minimizando os efeitos da temperatura, pode ser conseguida pelo emprego de pré-tratamentos que diminuam o teor de umidade inicial ou reduzam a transferência de massa, como a desidratação osmótica e o uso de coberturas comestíveis antes da fritura (TOREZAN, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de desidratação osmótica e coberturas à base de pectina, alginato ou metilcelulose, visando à minimização do teor de óleo, após o processo de fritura de *chips* de batata-doce.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Preparo das amostras

As batatas-doces (*Ipomoea batatas*) da variedade Mona Lisa amarela foram adquiridas de um único produtor no CEASA – Campinas/SP. Os tubérculos foram lavados em água corrente para retirada grosseira de sujidades oriundas do campo. Posteriormente, foram descascadas com auxílio de descascador manual de aço inoxidável e o fatiamento, na espessura de 3mm, foi realizado em Processador de Alimentos EL. Inox (marca SKYMSEN, modelo PAIE, Brasil). As batatas-doces foram fritas em fritadeira elétrica da marca Multifritas, modelo NC-2R, composta de duas cubas e em cada cuba a capacidade foi de 16litros de óleo : 11litros de água : 1Kg de sal.

### 2.2 Desidratação osmótica

Para a elaboração da solução osmótica foram utilizadas duas soluções aquosas de: (i) glicerol / cloreto de cálcio e (ii) xarope de glicose, nas respectivas proporções, 30%, 1% e 63,75%. A solução de glicerol/CaCl<sub>2</sub> e xarope de glicose foi preparada na proporção de 1:5 (1 parte de glicerol/CaCl<sub>2</sub> para 5 partes de xarope de glicose). A solução foi deixada em repouso por aproximadamente 1 hora, após o preparo, para sua estabilização, ou seja, obtenção de uma solução límpida e sem partículas suspensas. A desidratação osmótica foi realizada em banho termostático (Nova Ética modelo 304/D), utilizando rotação de 90rpm, temperatura de 48°C e tempo de 120 minutos.

### 2.3 Cobertura comestível

As três coberturas comestíveis avaliadas foram formadas à partir de soluções de pectina (4,0%), alginato de sódio (2,0%) ou metilcelulose (2,0%). Após a aplicação das coberturas, as fatias de batatas-doces recobertas foram

penduradas uma a uma em bandeja perfurada com espaçamento de aproximadamente 1,5cm cada fatia e colocadas em estufa de circulação de ar durante 2 horas para secagem da cobertura.

### **2.3.1 Cobertura de pectina de baixa metoxilação**

Para a elaboração da cobertura de pectina, foi adotado o seguinte procedimento: (i) solubilização de 1,0% de glicerol, em relação à macromolécula, em 2000mL de água sob aquecimento a 60°C com agitação magnética moderada durante 5 minutos; posteriormente, (ii) foi adicionado 4,0% de pectina, mantendo a temperatura a 60°C e a agitação magnética durante 20 minutos para completa solubilização do material; em seguida, (iii) foi adicionado 0,06% de CaCl<sub>2</sub> sob agitação magnética a 60°C por mais 5 minutos.

### **2.3.2 Cobertura de alginato de sódio**

As coberturas de alginato de sódio foram obtidas pela solubilização de 0,5% de glicerol, em relação à macromolécula, em 700mL de água destilada a 70°C e após 5 minutos de agitação magnética, foi adicionado 2,0% de alginato de sódio, mantendo a agitação durante 20 minutos para completa dissolução.

### **2.3.3 Cobertura de metilcelulose**

As coberturas de metilcelulose foram elaboradas efetuando-se, inicialmente, a solubilização de 0,5% de glicerol, em relação à macromolécula, em 245g de água destilada a 70°C e após 5 minutos de agitação magnética, foi adicionado 2,0% de metilcelulose e 455g de água destilada refrigerada (2°C) sob agitação magnética durante 15 minutos. A solução final foi então colocada em banho de ultrassom (Thornton modelo T1440) por 5 minutos para minimização da formação de bolhas.

## 2.4 Fritura

As fatias de batatas-doces desidratadas e recobertas foram fritas em fritadeira elétrica com oleína de palma na proporção de 1:30 de batata e óleo, ou seja, para cada 16 litros de óleo em cada cuba foram utilizados 500g de batata-doce em cada processo. A temperatura utilizada foi de 160°C e o tempo de 3 minutos e 30 segundos.

Após o processo de fritura, foi avaliado o teor de óleo incorporado em cada tratamento segundo método Soxhlet 02-01 (AACC, 1995). Os dados foram avaliados pela comparação de médias e Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, utilizando do programa estatístico SAS.

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Teor de óleo incorporado

Em todos os tratamentos, utilizando o processo de desidratação osmótica e coberturas comestíveis, houve uma diminuição do teor de óleo incorporado nos *chips* de batata-doce (Tabela 9.1).

Os tratamentos utilizando o processo de desidratação osmótica e coberturas comestíveis à base de pectina e alginato não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de significância. A redução do teor de óleo incorporado foi de 39,27% e 46,77%, respectivamente, para os tratamentos com desidratação osmótica e uso de cobertura à base de pectina e alginato.

O tratamento mais eficiente para minimizar o teor de óleo incorporado nos *chips* de batata-doce foi a utilização do processo de desidratação osmótica e cobertura de metilcelulose reduzindo em 55,78% a absorção de óleo em relação ao tratamento controle.

O uso de desidratação osmótica, utilizando: xarope de sacarose 65°Brix, temperatura de 160°C e tempo de 60 minutos e coberturas de 2% de pectina ou

2% de alginato, anteriormente ao processo de fritura, em *chips* de maçã, foram eficientes promovendo uma minimização do teor de óleo incorporado de 60%. O teor de óleo final dos *chips* de maçã foi de 12%, ou seja, praticamente o dobro do valor comparado aos *chips* de batata-doce deste trabalho que foi de 6,72% (QUERIDO, 2005).

Estudo realizado em *chips* de banana, utilizando solução osmótica de 20% de glicose e cloreto de sódio como pré-tratamento à fritura, reduziu a incorporação de óleo pela metade, após o processo de fritura em óleo de girassol (IKOKO; KURI, 2007). O teor de óleo final nos *chips* de banana foi de 13%, ou seja, o dobro do valor encontrado neste trabalho para *chips* de batata-doce.

Estudo utilizando cobertura de metilcelulose, na concentração de 1%, em discos de massa de farinha de trigo reduziu em 30% a absorção de óleo, comparando ao tratamento sem cobertura (BERTOLINI SUÁREZ et al., 2008). A maior incorporação de óleo, neste caso, pode ser explicada possivelmente devido à menor concentração da cobertura e à ausência do processo de desidratação osmótica.

**Tabela 9.1** Teor de óleo incorporado nos *chips* de batata-doce.

<b>Tratamentos</b>	<b>Teor de óleo incorporado (%)</b>
Controle	15,2 ± 0,42 <sup>a</sup>
DO + CO de pectina	9,23 ± 0,41 <sup>b</sup>
DO + CO de alginato	8,09 ± 0,04 <sup>b</sup>
DO + CO de metilcelulose	6,72 ± 0,53 <sup>c</sup>

DO = desidratação osmótica; CO = cobertura; Controle = sem tratamento

O uso de coberturas de alginato ou pectina, na concentração de 1%, em *chips* de banana minimizou a incorporação de óleo em 6% e 43%, respectivamente, em relação aos *chips* de banana sem cobertura (SINGTHONG; THONGKAEW, 2009).

O teor de óleo final, nos *chips* de banana recobertos com pectina, foi de 22%, ou seja, mais de 3 vezes superior ao valor encontrado para o *chips* de batata-doce.

#### 4 Conclusão

O tratamento mais eficiente para minimizar o teor de óleo incorporado nos *chips* de batata-doce foi a utilização dos processos de desidratação osmótica e aplicação de cobertura de metilcelulose, reduzindo em 55,78% a absorção de óleo em relação ao tratamento controle, obtendo-se *chips* com teor de óleo final de 6,72%.

#### 5 Referências bibliográficas

- AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed., Saint Paul: AACC, 1995.
- ALBERT, S.; MITTAL, G.S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. **Food Research International**, v.35, p.445-448, 2002.
- BALDWIN, A.; NISPEROS, O.; HAGENMAIER, D.; BAKER, R.A. Use of lipids in coatings for food products. **Food Technology**, vol. 56, n. 6, p. 56-62, 1997.
- BERTOLINI SUÁREZ, R.; CAMPOÑONE, L.A.; GARCÍA, M.A.; ZARITZKY, N.E. Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. **Journal of Food Engineering**, v.84, p.383-393, 2008.
- CARULO, M. F., **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos contendo sorbato de potássio, feitos de alginato de cálcio e ácidos graxos**. 2005. 136p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- DONHOWE, I.G., FENNEMA, O. The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.17, p. 247-257, 1993.
- GARCIA, M.A.; FERRERO, C.; BERTOLA, N.; MARTINO, M.; ZARITZKY, N. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.3, p.391-397, 2002.
- IKOKO, J.; KURI, V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. **Food Chemistry**, v.102, p.523-531, 2007.
- KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**. Chicago, v.40, n.4, p.47-59, 1986.

KHALIL, A.H. Quality of french fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. **Food Chemistry**, v.66, p.201-208, 1999.

KROKIDA, M.K.; OREOPOULOU, V.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Effect of pre-drying on quality of French fries. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.347-354, 2001.

MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.30, p. 709-714, 1997.

MAY, C. D. Pectins. In: IMENSON, A. Thickening and gelling agents for food. cap. 11. 2 ed. **London: Blackie Academic & Professional**. p.230-260. 1997.

MOYANO, P.C.; BERNA, A.Z. Modelling water loss during frying of potato strips: effect of solute impregnation. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1303-1318, 2002.

PARK, H. J., WELLER, C.L., VERGANO, P.J., TESTIN, R.F. Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. **Journal of Food Science**, v.58, p. 1361-1370, 1993.

QUERIDO, A.F. **Estudo de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 219p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SINGTHONG, J.; THONGKAEW, C. Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana *chips*. **Food Science and Technology**, v.42, p. 1199-1203, 2009.

TFOUNI, S.A.V.; MACHADO, R.M.D.; GARCIA, L.C.; AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. Batata chips e palha. **Agronegócio 3**. Campinas: ITAL, 73p. 2003.

TOREZAN, G.A.P. **Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga**. 2005. 269p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

WHISTLER, R.L.; BEMILLER, J.N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. San Diego: Academic Press. 214p. 1997.

WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Low-fat fried foods with edible coatings: modeling and simulation. **Journal of Food Science**, v.64, p.317-322, 1999.

ZACTITI, E. M. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis de alginato de cálcio sem e com sorbato de potássio**. 2004. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

**CAPÍTULO 10 - ESTUDO DA VIDA ÚTIL DE *CHIPS* DE  
BATATA-DOCE**

---



## CAPÍTULO 10

### ESTUDO DA VIDA ÚTIL DE *CHIPS* DE BATATA-DOCE

Luciana Cristina Brigatto FONTES; Fernanda Paula COLLARES-QUEIROZ.

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a vida útil de *chips* de batata-doce, obtidos pelo processo combinado de desidratação osmótica e aplicação de cobertura de metilcelulose antes do processo de fritura durante 60 dias em comparação aos *chips* de batata-doce sem tratamento. Inicialmente, as batatas-doces foram lavadas, descascadas e fatiadas na espessura de 3mm. No processo de desidratação osmótica, a solução desidratante foi composta de: (i) glicerol/cloreto de cálcio e (ii) xarope de glicose, nas respectivas proporções, 30%, 1% e 63,75%. A solução de glicerol/CaCl<sub>2</sub> e xarope de glicose foi preparada na proporção de 1:5. A desidratação osmótica foi realizada em banho termostático, utilizando rotação de 90rpm, temperatura de 48°C e tempo de 120 minutos. A cobertura comestível utilizada foi de metilcelulose na concentração de 2,0%. As fatias de batata-doce desidratadas e recobertas com película de metilcelulose foram fritas em fritadeira elétrica com oleína de palma na proporção de 1:30 (batata-doce:óleo), temperatura de 160°C e o tempo de 3 minutos e 30 segundos. Os *chips* de batata-doce foram monitorados durante 60 dias de estocagem em relação à: (i) umidade; (ii) atividade de água; (iii) cor; (iv) textura; (v) teor de óleo; (vi) índice de peróxido; (vii) composição de ácidos graxos; (viii) gordura trans; e (ix) características sensoriais. Os *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram algumas diferenças significativas estatisticamente nas características físico e físico-químicas com a estocagem do produto. No entanto, não foi detectada mudanças sensoriais pelos provadores, indicando que os *chips* de batata-doce possam ser estocados por 60 dias sem perdas das características sensoriais. Os *chips* de batata-doce controle apresentaram melhores

características, tanto nas análises físico e físico-químicas, como na análise sensorial durante os 60 dias de estocagem, comparado aos *chips* de batata-doce tratamento. A textura foi o atributo que apresentou maior influência negativa na aceitação e intenção de compra de *chips* de batata-doce controle e tratamento. A textura rígida, possivelmente, está relacionada à natureza do vegetal e espessura da fatia utilizada. Realizando o emprego de processos tecnológicos seria possível melhorar a textura deste produto, fazendo com que a aceitação e a intenção de compra aumente.

**Palavras-chave:** desidratação osmótica, metilcelulose, vida útil, *chips* de batata-doce

## 1 Introdução

O Brasil apresenta a maior produção de batata-doce do continente latino-americano. Uma alternativa interessante para a expansão da cultura e também devido a sua alta perecibilidade seria a utilização da batata-doce como *chips* que é um mercado que vem crescendo muito ultimamente por se tratar de um produto de conveniência.

A obtenção de *chips* de batata-doce de boa qualidade, com desenvolvimento controlado de sabor, aroma, cor e textura característicos, aliado à baixa incorporação de óleo e máxima perda de água, requer uma otimização dos parâmetros do processo de fritura, principalmente tempo e temperatura (TFOUNI et al., 2003). Altas temperaturas aceleram reações de escurecimento não enzimático, degradação de compostos de aroma e vitaminas. Assim, a redução do tempo de residência do produto no óleo de fritura, minimizando os efeitos da temperatura, pode ser conseguida pelo emprego de pré-tratamentos que diminuam o teor de umidade inicial ou reduzam a transferência de massa, como a desidratação osmótica e o uso de coberturas comestíveis antes da fritura (TOREZAN, 2005).

O uso da desidratação osmótica como pré-tratamento à fritura vem sendo estudado por diversos pesquisadores. A desidratação parcial do material reduz o teor de água inicial e, portanto, o tempo do processo subsequente de fritura, juntamente com a impregnação por soluto, que possui um efeito positivo na diminuição da incorporação de óleo pelo produto, resultando em produtos fritos de melhor qualidade (TOREZAN, 2005).

Estudo realizado em *chips* de banana, utilizando solução osmótica de 20% de glicose e cloreto de sódio como pré-tratamento à fritura, reduziu a incorporação de óleo pela metade, após o processo de fritura em óleo de girassol (IKOKO; KURI, 2007).

Estudo utilizando desidratação osmótica antes do processo de fritura para fatias de batata foi conduzido em banho com temperatura de 30°C, agitação 30rpm, durante 15 minutos e solução desidratante de sacarose e cloreto de sódio, na proporção 4:1. Após o processo osmótico de desidratação foram submetidas à fritura em óleo de girassol, nas temperaturas de 160, 170 e 180°C. Os autores verificaram uma diminuição da incorporação de óleo de 15% (temperatura de 180°C), e atribuíram esta redução à formação de uma barreira sólida de soluto durante o pré-tratamento osmótico, permeável à saída de vapor, mas que dificulta a entrada de óleo no processo de fritura (MOYANO; BERNA, 2002).

As coberturas comestíveis mais utilizadas para reduzir a migração do óleo para o alimento no processo de fritura são os hidrocolóides, os lipídios ou a combinação de ambos. Os hidrocolóides são especialmente interessantes pois possuem boa propriedade de barreira ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídios (WILLIAMS; MITTAL, 1999).

De acordo com CARULO (2005), as coberturas de metilcelulose têm função de reduzir: (i) a permeabilidade ao dióxido de carbono e ao oxigênio; (ii) a degradação do óleo; (iii) a perda da umidade e (iii) a absorção de óleo.

MALLIKARJUNAN et al. (1997) utilizando batatas maceradas no formato de esferas de 47mm de diâmetro, estudaram o efeito de coberturas de zeína de milho, metoximetilcelulose e metilcelulose, conseguindo uma redução do teor de óleo de 59; 61,4 e 83,65%, respectivamente.

A utilização de coberturas de metilcelulose em *chips* de batata e discos de massa de farinha de trigo, na concentração de 1,0%, minimizou a incorporação de óleo em 40,6 e 35,2%, respectivamente, em comparação as amostras sem coberturas (GARCIA et al., 2002).

BERTOLINI SUÁREZ et al. (2008), avaliando o uso de coberturas de metilcelulose na concentração de 1%, em discos de massa de farinha de trigo,

observaram que a cobertura reduziu em 30% a absorção de óleo, comparando ao tratamento sem cobertura.

A análise sensorial é utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar reações às características de alimentos, ou outros materiais, da maneira como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (MINIM, 2006).

A característica de textura denominada crocância é um dos mais importantes indicadores de qualidade do de *chips* de batata e a principal característica sensorial apreciada pelos provadores, além da cor, odor e sabor (SALVADOR et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a vida útil de *chips* de batata-doce desidratado e com cobertura de metilcelulose durante 60 dias em comparação aos *chips* de batata-doce sem tratamento.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Preparo das amostras**

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) da variedade Monalisa amarela foi adquirida de um único produtor no CEASA – Campinas/SP em lotes de compra diferentes conforme necessidade da matéria-prima para o processamento. Os tubérculos foram lavados em água corrente para retirada grosseira de sujidades oriundas do campo. Posteriormente, foram descascadas com auxílio de descascador manual de aço inoxidável e o fatiamento, na espessura de 3mm, foi realizado em Processador de Alimentos EL. Inox (marca SKYMSEN, modelo PAIE, Brasil). As batatas-doces foram fritas em fritadeira elétrica da marca Multifritas, modelo NC-2R, composta de duas cubas e em cada cuba a capacidade foi de 16litros de óleo : 11litros de água : 1Kg de sal.

## 2.2 Desidratação osmótica

Para a elaboração da solução osmótica foram utilizadas duas soluções aquosas: (i) glicerol / cloreto de cálcio e (ii) xarope de glicose, nas respectivas proporções: 30%, 1% e 63,75%. A solução de glicerol/CaCl<sub>2</sub> e xarope de glicose foi preparada na proporção de 1:5 (1 parte de glicerol/CaCl<sub>2</sub> para 5 partes de xarope de glicose). A solução foi deixada em repouso por aproximadamente 1 hora, após o preparo, para sua estabilização, ou seja, obtenção de uma solução límpida e sem partículas suspensas. A desidratação osmótica foi realizada em banho termostático (Nova Ética modelo 304/D), utilizando rotação de 90rpm, temperatura de 48°C e tempo de 120 minutos.

## 2.3 Cobertura comestível de metilcelulose

A cobertura de metilcelulose foi elaborada efetuando-se, inicialmente, a solubilização de 0,5% de glicerol, em relação à macromolécula, em 245g de água destilada a 70°C e, após 5 minutos de agitação magnética, foi adicionado 2,0% de metilcelulose e 455g de água destilada refrigerada (2°C) sob agitação magnética durante 15 minutos. A solução final foi, então, colocada em banho de ultrassom (Thornton modelo T1440) por 5 minutos para minimização da formação de bolhas. Após a aplicação da cobertura de metilcelulose, as fatias de batatas-doces recobertas foram penduradas uma a uma em bandeja perfurada com espaçamento de aproximadamente 1,5cm cada fatia e colocadas em estufa de circulação de ar durante 2 horas para secagem da cobertura.

## 2.4 Fritura

As fatias de batata-doce desidratadas e recobertas com metilcelulose foram fritas em fritadeira elétrica com oleína de palma na proporção de 1:30 de batata e óleo, ou seja, para cada 16 litros de óleo em cada cuba foram utilizados 500g de

batata-doce em cada processo. A temperatura utilizada foi de 160°C e o tempo de 3 minutos e 30 segundos.

## **2.5 Estocagem dos *chips* de batata-doce**

Os *chips* de batata-doce foram embalados em filme de polietileno metalizado e estocados à temperatura ambiente, durante 60 dias. As condições climáticas de Campinas durante o período foram: temperatura média de 25,39°C e umidade relativa média de 74,28% (CEPAGRI, 2009).

## **2.6 Análise dos *chips* de batata-doce**

Os *chips* de batata-doce foram monitorados em relação à: (i) umidade; (ii) atividade de água; (iii) cor; (iv) textura; (v) teor de óleo; (vi) índice de peróxido; (vii) composição de ácidos graxos; (viii) gordura trans e (ix) características sensoriais.

### **2.6.1 Umidade**

A determinação da umidade foi realizada, em triplicata, de acordo com o método nº 44-40 (AACC, 1995), nos dias 1, 15, 30, 45 e 60 dias de estocagem.

### **2.6.2 Atividade de água**

A atividade de água foi determinada, em triplicata, utilizando-se o equipamento Aqualab, modelo 3 TE (Braseq, Brasil). As análises foram realizadas nos dias 1, 15, 30, 45 e 60 dias de estocagem.

### 2.6.3 Cor

A análise instrumental de cor (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) foi realizada nas amostras de *chips* de batata-doce trituradas e colocadas em cubeta de 25mm, nos dias 1, 15, 30, 45 e 60 dias de estocagem, em quadruplicata, utilizando-se o colorímetro ColorQUEST II (HunterLab, EUA), no sistema de cor CIELab. No sistema CIELab, os valores para luminosidade são representados pelo L (0 preto; 100 branco), o vermelho é representado por ( $+a^*$ ), e o verde por ( $-a^*$ ), o amarelo por ( $+b^*$ ) e o azul por ( $-b^*$ ), em um plano cartesiano (GIESE, 2000). As condições de mensuração foram as seguintes: calibração de Refletância Especular Excluída (RSEX), iluminante  $D_{65}$ , ângulo de visão de  $10^\circ$ . A diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) de cada tratamento foi determinada ao longo da estocagem em relação aos *chips* de batata-doce do dia 1 de acordo com a seguinte equação (MACDOUGALL, 2002):

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

### 2.6.4 Textura

A dureza dos *chips* de batata-doce foi avaliada pela força em compressão (g) determinada utilizando o texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, UK), utilizando probe em formato de esfera de inox SMSP/0.55 e agulha P/0,5S.

A análise foi baseada na metodologia para *tortilha chips* do banco de dados do equipamento. As condições estipuladas foram: velocidade pré-teste de 1,0mm/s; velocidade do teste de 1,10mm/s; velocidade pós-teste de 10,0mm/s; força de contato de 10g e taxa de aquisição de 200pps (ponto por segundo). As análises foram realizadas nos dias 1, 15, 30, 45 e 60 de estocagem. Os resultados foram expressos pelo valor médio dos picos de força de 10 amostras, em gramas.

### **2.6.5 Teor de óleo**

O teor de óleo incorporado foi determinado, em duplicata, segundo método Soxhlet 02-01 (AACC, 1995), nos dias 1, 15, 30, 45 e 60 dias de estocagem.

### **2.6.6 Índice de peróxido**

O índice de peróxido foi determinado, em duplicata, segundo as normas da (AOCS, 2004), método Cd 8b-90 nos dias 1, 15, 30, 45 e 60 dias de estocagem.

### **2.6.7 Composição de ácidos graxos e gordura *trans***

A análise da composição em ácidos graxos foi realizada em cromatógrafo à gás - CGC AGILENT 6850 SERIES GC SYSTEM, após transesterificação utilizando BF<sub>3</sub> como reagente, de acordo com o método Ce1-62 (AOCS, 2004). Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram separados de acordo com as normas da (AOCS, 2004), método Ca 2-66 em coluna capilar DB - 23 AGILENT (50% cyanopropyl-methylpolysiloxano), dimensões 60m, diâmetro interno: 0,25mm, 0,25µm filme. Inicialmente, a temperatura do forno é de 110°C durante 5min, posteriormente, houve um aumento gradativo a cada minuto de 5°C, na faixa de temperatura de 110°C a 215°C, finalizando com uma temperatura de 215°C durante 24 minutos; temperatura do detector: 280°C; temperatura do injetor 250°C; gás de arraste: hélio; Razão Split 1:50; volume injetado:1,0µL. A composição qualitativa foi determinada por comparação dos tempos de retenção dos picos com os dos respectivos padrões de ácidos graxos. A composição quantitativa foi realizada por normalização de área, sendo expressa como porcentagem em massa nos dias 1 e 60 dias de estocagem.

### 2.6.8 Análise sensorial

A análise sensorial dos *chips* de batata-doce controle e tratamento foi efetuada por testes de aceitação e de intenção de compra, com 50 provadores não treinados. Foram realizadas duas avaliações, sendo que a primeira se deu no dia 1 de estocagem e a segunda, após 60 dias.

Os atributos avaliados foram: aparência global, cor, aroma, sabor, textura e impressão global, utilizando escala hedônica (STONE; SIDEL, 1993) de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = nem gostei / nem desgostei, 1 = desgostei extremamente). A intenção de compra e a aceitação dos *chips* de batata-doce foram medidas através de uma escala binária, ou seja, variável dicotômica, a saber, sim ou não (SOLER, 2005).

### 2.6.9 Análise estatística

Os resultados foram avaliados através da comparação de médias por análise de variância (ANOVA) e Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, utilizando o *software* SAS for *Windows* versão 8.2 (COUNCIL, 1985). Para intenção de compra e aceitação dos *chips* de batata-doce, foi utilizada a regressão logística para identificar atributos sensoriais que influenciam na análise através do *software* STATISTICA 7.0. A presença ( $y=1$ ) ou ausência ( $y=0$ ) de uma escala definida característica foi predita a partir de um grupo de variáveis exploratórias (aparência global, cor, aroma, sabor, textura e impressão global) (HOMER; LEMESHOW, 2000).

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Umidade

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram maiores teores de umidade durante todo o período de estocagem de 60 dias, diferindo estatisticamente dos *chips* de batata-doce tratamento (Tabela 10.1).

No dia 30 de estocagem, ocorreu um aumento significativo de umidade nos *chips* de batata-doce controle.

Os *chips* de batata-doce tratamento apresentaram comportamento oscilatório durante o período de estocagem, com aumento, queda e aumento significativo da umidade.

#### 3.2 Atividade de água

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram maiores valores de atividade de água durante todo o período de estocagem de 60 dias, diferindo estatisticamente dos *chips* de batata-doce tratamento (Tabela 10.1).

No 15º dia de estocagem, ocorreu um aumento da atividade de água significativo nos *chips* de batata-doce controle.

Os *chips* de batata-doce tratamento apresentaram queda significativa de atividade de água no 45º dia de estocagem.

#### 3.3 Cor

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram maiores valores de luminosidade, ou seja, coloração mais clara durante todo o período de estocagem de 60 dias, diferindo estatisticamente dos *chips* de batata-doce tratamento (Tabela 10.1).

Durante o período de estocagem, houve uma queda da luminosidade, ou seja, os *chips* de batata-doce dos dois tratamentos tornaram-se mais escuros.

Com relação à diferença de cor ( $\Delta E$ ), não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, exceto no dia 15, que os *chips* de batata-doce controle apresentaram maior valor de diferença de cor em relação aos *chips* controle do dia 1.

Durante o período de 60 dias de estocagem, houve um aumento do valor de ( $\Delta E$ ), ou seja, os *chips* de batata-doce dos dois tratamentos apresentaram maiores diferenças em relação à coloração dos *chips* do dia 1.

### 3.4 Textura

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram menores valores de dureza durante todo o período de estocagem de 60 dias, diferindo estatisticamente dos *chips* de batata-doce tratamento. Este fato pode ser justificado, devido ao maior teor de umidade e atividade de água durante todo o período de estocagem dos *chips* de batata-doce controle (Tabela 10.1).

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram uma queda da dureza no dia 60 de estocagem, fato que pode estar relacionado com o aumento do teor de umidade nos *chips* no dia 30, tornando-os menos crocantes, ou seja, “murchos”.

Os *chips* de batata-doce tratamento apresentaram elevado valor de dureza, praticamente o dobro da textura dos *chips* controle. Durante o período de estocagem houve um aumento significativo no valor da dureza.

GRIZOTTO; MENEZES (2003) verificaram através da análise sensorial que a textura dura foi o principal problema que envolve a tecnologia de fabricação de *chips* de mandioca. Supôs-se ser possível torná-los crocantes, porém macios, por meio da ação de enzimas produzidas durante a fermentação natural das raízes.

A fraturabilidade de *chips* de manga desidratado com solução de sacarose 65°Brix durante 120 minutos e fritos em óleo de palma foi de 982,3g. Os valores encontrados, neste estudo, para *chips* de batata-doce controle e tratamento foram 4 vezes superior ao encontrado para *chips* de manga, indicando uma maior resistência à quebra e, portanto, maior dureza, que pode estar relacionado à natureza da matéria-prima e também à espessura (TOREZAN, 2005).

Em estudo utilizando coberturas de alginato e pectina, na concentração de 1,0%, os *chips* de banana apresentaram valores de dureza de 1228,64g e 967,45g, respectivamente, ou seja, a metade da textura encontrada neste estudo para *chips* de batata-doce desidratado e com cobertura de metilcelulose (SINGTHONG; THONGKAEW, 2009).

### 3.5 Teor de óleo

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram maiores valores de teor de óleo durante todo o período de estocagem de 60 dias, diferindo estatisticamente dos *chips* de batata-doce tratamento. Isto demonstra a eficiência dos tratamentos de desidratação osmótica e uso de coberturas comestíveis à base de metilcelulose que reduziu em até 55% a incorporação de óleo durante o processo de fritura (Tabela 10.1).

O teor de óleo não apresenta mudança significativa durante a estocagem de 60 dias.

O uso de desidratação osmótica utilizando xarope de sacarose 65°Brix, temperatura de 160°C e tempo de 60 minutos e coberturas de 2% de pectina ou 2% de alginato, anteriormente ao processo de fritura, em *chips* de maçã, foram eficientes promovendo uma minimização do teor de óleo incorporado de 60%. O teor de óleo final dos *chips* de maçã foi de 12%, ou seja, praticamente o dobro do valor comparado aos *chips* de batata-doce deste trabalho que foi de 6,72% (QUERIDO, 2005).

Estudo utilizando cobertura de metilcelulose, na concentração de 1%, em discos de massa de farinha de trigo reduziu em 30% a absorção de óleo, comparando ao tratamento sem cobertura (BERTOLINI SUÁREZ et al., 2008). A maior incorporação de óleo, neste caso, pode ser explicada possivelmente devido a menor concentração da cobertura e a ausência do processo de desidratação osmótica.

O uso de coberturas de alginato ou pectina, na concentração de 1%, em *chips* de banana minimizou a incorporação de óleo em 6% e 43%, respectivamente, em relação aos *chips* de banana sem cobertura (SINGTHONG; THONGKAEW, 2009). O teor de óleo final nos *chips* de banana recobertos com pectina foi de 22%, ou seja, mais de 3 vezes o valor encontrado para o *chips* de batata-doce.

### 3.6 Índice de peróxido

O índice de peróxido está relacionado com a degradação oxidativa dos óleos, caracterizando-se como os produtos iniciais desse tipo de reação (VERGARA et al., 2006).

Os *chips* de batata-doce tratamento apresentaram maiores valores de índice de peróxido durante todo o período de estocagem de 60 dias, diferindo estatisticamente dos *chips* de batata-doce controle (Tabela 10.1).

Nos *chips* de batata-doce controle ocorreu um aumento significativo aos 15 dias de estocagem no índice de peróxido e posteriormente uma queda significativa até o final do período. Para os *chips* de batata-doce tratamento, a queda no índice de peróxido foi aos 45 dias de estocagem.

As normas que regulamentam a adequação de um óleo para o consumo no Brasil (Resolução nº 482/99 - ANVISA), estabelecem para os óleos de algodão, girassol e palma refinados 10 meq/Kg para índice de peróxidos (BRASIL, 1999), o

que permitiria a utilização da oleína de palma por um período maior de tempo antes do descarte.

**Tabela 10.1** Análises realizadas nos *chips* de batata-doce durante estocagem de 60 dias.

Análises	Tratamentos	Dias				
		1	15	30	45	60
Umidade	Controle	2,08 ± 0,26 <sup>aB</sup>	3,04 ± 0,05 <sup>aB</sup>	6,94 ± 0,08 <sup>aA</sup>	6,44 ± 0,67 <sup>aA</sup>	5,93 ± 0,04 <sup>aA</sup>
	Tratamento	0,36 ± 0,00 <sup>bC</sup>	0,82 ± 0,03 <sup>bA</sup>	0,53 ± 0,02 <sup>bBC</sup>	0,42 ± 0,02 <sup>bC</sup>	0,61 ± 0,09 <sup>bB</sup>
Atividade de água	Controle	0,580 ± 0,02 <sup>aB</sup>	0,688 ± 0,01 <sup>aA</sup>	0,659 ± 0,00 <sup>aA</sup>	0,666 ± 0,01 <sup>aA</sup>	0,653 ± 0,01 <sup>aA</sup>
	Tratamento	0,472 ± 0,03 <sup>bABC</sup>	0,486 ± 0,01 <sup>bAB</sup>	0,501 ± 0,02 <sup>bA</sup>	0,422 ± 0,00 <sup>bC</sup>	0,438 ± 0,01 <sup>bBC</sup>
L*	Controle	73,78 ± 0,10 <sup>aA</sup>	68,96 ± 1,20 <sup>aCD</sup>	71,59 ± 1,10 <sup>aB</sup>	69,55 ± 1,30 <sup>aBC</sup>	67,31 ± 0,47 <sup>aD</sup>
	Tratamento	64,49 ± 0,83 <sup>bA</sup>	63,62 ± 0,36 <sup>bA</sup>	64,09 ± 0,35 <sup>bA</sup>	60,10 ± 0,94 <sup>bB</sup>	59,07 ± 0,91 <sup>bB</sup>
a*	Controle	5,84 ± 0,17 <sup>bAB</sup>	5,96 ± 0,25 <sup>bA</sup>	5,12 ± 0,35 <sup>bB</sup>	6,30 ± 0,60 <sup>bA</sup>	5,84 ± 0,35 <sup>bAB</sup>
	Tratamento	8,48 ± 0,21 <sup>aA</sup>	8,50 ± 0,29 <sup>aA</sup>	6,71 ± 0,39 <sup>aB</sup>	8,25 ± 0,42 <sup>aA</sup>	8,68 ± 0,39 <sup>aA</sup>
b*	Controle	38,76 ± 0,35 <sup>aB</sup>	35,45 ± 0,26 <sup>aC</sup>	35,94 ± 0,49 <sup>aC</sup>	33,84 ± 0,15 <sup>aD</sup>	41,23 ± 0,23 <sup>aA</sup>
	Tratamento	25,88 ± 0,26 <sup>bB</sup>	24,80 ± 0,13 <sup>bC</sup>	23,12 ± 0,54 <sup>bD</sup>	21,64 ± 0,08 <sup>bE</sup>	27,32 ± 0,33 <sup>bA</sup>
ΔE	Controle	0 ± 0 <sup>aC</sup>	5,86 ± 1,13 <sup>aAB</sup>	3,74 ± 0,71 <sup>aB</sup>	6,57 ± 0,79 <sup>aA</sup>	6,18 ± 1,56 <sup>aA</sup>
	Tratamento	0 ± 0 <sup>aD</sup>	1,43 ± 0,22 <sup>bC</sup>	3,32 ± 0,62 <sup>aB</sup>	6,14 ± 0,64 <sup>aA</sup>	5,62 ± 0,95 <sup>aA</sup>
Dureza*	Controle	2402,72 ± 6,49 <sup>bB</sup>	2448,53 ± 8,83 <sup>bA</sup>	2286,79 ± 2,30 <sup>bAB</sup>	2489,57 ± 9,10 <sup>bA</sup>	2217,20 ± 8,08 <sup>bB</sup>
	Tratamento	3620,02 ± 4,30 <sup>aB</sup>	4056,20 ± 7,92 <sup>aA</sup>	3801,92 ± 10,38 <sup>aAB</sup>	3928,18 ± 10,21 <sup>aAB</sup>	3729,89 ± 6,76 <sup>aAB</sup>
Teor de óleo	Controle	13,95 ± 0,21 <sup>aA</sup>	13,88 ± 4,24 <sup>aA</sup>	18,7 ± 1,41 <sup>aA</sup>	15,0 ± 1,84 <sup>aA</sup>	**
	Tratamento	5,5 ± 0,28 <sup>bA</sup>	6,2 ± 0,71 <sup>bA</sup>	5,5 ± 0,21 <sup>bA</sup>	5,5 ± 0,78 <sup>bA</sup>	5,55 ± 0,00 <sup>A</sup>
Índice de peróxido	Controle	5,25 ± 0,07 <sup>bB</sup>	7,80 ± 0,57 <sup>bA</sup>	5,70 ± 0,14 <sup>bB</sup>	2,25 ± 0,07 <sup>bC</sup>	**
	Tratamento	8,30 ± 0,14 <sup>aA</sup>	9,50 ± 0,28 <sup>aA</sup>	8,45 ± 0,21 <sup>aA</sup>	7,25 ± 0,49 <sup>aB</sup>	7,00 ± 0,71 <sup>B</sup>

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. \* coeficiente de variação. \*\* perda de amostra.

### 3.7 Comparação dos *chips* de batata-doce com um produto comercial

Para efeito de comparação com os *chips* de batata-doce controle e tratamento deste estudo, foram avaliados *chips* de batata comercial com relação às seguintes propriedades: (i) umidade; (ii) atividade de água; (iii) cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ); (iv) textura e (v) teor de óleo (Tabela 10.2).

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram valores de teor de umidade, atividade de água, luminosidade e dureza superiores à batata comercial. No entanto, para os *chips* de batata-doce tratamento, os resultados foram semelhantes para atividade de água e intensidade do amarelo.

Os fatores de maiores diferenças entre os *chips* de batata-doce e os *chips* de batata comercial foram: dureza e teor de óleo. A dureza dos *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentou valores 8 vezes e 13 vezes superiores, respectivamente, à dureza dos *chips* de batata comercial. A maior dureza dos *chips* de batata-doce, possivelmente, se deve à própria natureza do vegetal, espessura da fatia e tratamentos empregados. O teor de óleo do produto final dos *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram valores 55% e 82% inferiores aos *chips* de batata comercial.

**Tabela 10.2** Análises realizadas na batata comercial.

Análises	Batata Comercial
Umidade	1,34 ± 0,10%
Atividade de água	0,425 ± 0,056
L*	69,98 ± 1,15
a*	2,88 ± 0,17
b*	26,06 ± 0,25
Dureza	305,97 ± 8,96g
Teor de Óleo	35,2% ± 0,21

### 3.8 Composição de ácidos graxos e gordura *trans*

A oleína de palma utilizada durante a fritura de *chips* de batata-doce controle apresenta alto teor de ácidos graxos insaturados (57,17%), dos quais o ácido oléico contribui com 45,73%. A porcentagem de ácidos graxos saturados é de 42,83%, com 36,22% de ácido palmítico. Não foi possível a realização da composição dos ácidos graxos dos *chips* de batata-doce controle no dia 60 de estocagem, pois a amostra apresentou-se com fungos (Tabela 10.3).

A oleína de palma utilizada durante a fritura de *chips* de batata-doce tratamento apresenta teores muito semelhantes aos encontrados para *chips* de batata-doce controle. Após a estocagem dos *chips* de batata-doce tratamento fritos em oleína de palma por 60 dias, os valores de composição de ácidos graxos praticamente não sofreram alteração.

A composição em ácidos graxos *trans* foi a mesma para os dois tipos de tratamentos (0,12g/100g) e não houve mudança no teor com a estocagem de 60 dias. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária pode ser utilizado a alegação “livre de gordura *trans*” nos rótulos dos alimentos, desde que o produto

tenha no máximo 2g de gordura *trans* por porção (ANVISA, 2009). Nos dois tratamentos realizados pode ser utilizada a alegação de “livre de gordura *trans*”, pois o produto apresentou teor de 0,12g.

**Tabela 10.3** Composição em ácidos graxos de oleína de palma utilizada na fritura de *chips* de batata-doce controle e tratamento.

Ácido Graxo		Controle		Tratamento	
		Dia 1	Dia 60	Dia 1	Dia 60
8:0	Caprílico	0,04	*	0,03	0,03
10:0	Cáprico	0,05	*	0,05	0,05
12:0	Láurico	0,47	*	0,44	0,48
14:0	Mirístico	0,84	*	0,83	0,82
16:0	Palmítico	36,22	*	36,22	35,97
16:1n-7	Palmitoléico	0,15	*	0,17	0,19
17:0	Margárico	0,09	*	0,09	0,10
17:1n-7	Margaroléico	0,03	*	0,03	0,03
18:0	Esteárico	4,53	*	4,57	4,56
18:1n-9	Oléico	45,73	*	45,97	45,78
t,t-18:2n-6	Linolelaídico	0,12	*	0,12	0,12
18:2n-6	Linoléico	10,65	*	10,49	10,84
18:3n-3	Alfa-Linolênico	0,31	*	0,24	0,26
20:0	Araquídico	0,39	*	0,39	0,39
20:1n-11	Gadoléico	0,18	*	0,18	0,17
22:0	Behênico	0,08	*	0,07	0,08
24:0	Lignocérico	0,09	*	0,09	0,09

\* perda de amostra. Média de duas replicatas e os resultados foram expressos em porcentagem de área relativa.

### 3.9 Análise sensorial

Os *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram as notas mais baixas para o atributo textura, (5,40 = nem gostei/nem desgostei) e (2,32 = desgostei muito), respectivamente, no dia 1 (Tabela 10.4), mostrando que as características da própria matéria-prima e espessura da fatia estão influenciando também a textura final do produto.

Os demais atributos avaliados para os *chips* de batata-doce controle, no dia 1, não apresentaram diferença significativa, exceto impressão global. Para os *chips* de batata-doce tratamento, o atributo que recebeu maior nota foi o aroma (6,14 = gostei ligeiramente) e os demais atributos não diferiram estatisticamente entre si. Após 60 dias de estocagem, os *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram o mesmo comportamento, com notas mais baixas diferentes estatisticamente para o atributo textura. Para os *chips* de batata-doce controle no dia 60, não houve diferença significativa para os demais atributos avaliados e, no caso dos *chips* de batata-doce tratamento, o atributo aroma apresentou maior nota (6,08) e diferença significativa aos demais atributos avaliados.

Após 60 dias de armazenamento, não houve diferença estatisticamente significativa tanto para os *chips* de batata-doce controle, como para os *chips* de batata-doce tratamento, em todos os atributos avaliados.

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram elevada aceitação (88%) e intenção de compra (78%), no dia 1. No entanto, para os *chips* de batata-doce tratamento, a aceitação foi baixa, apenas 6% e a intenção de compra 0%. Após 60 dias de estocagem, os *chips* de batata-doce controle apresentaram queda de 2% na aceitação e na intenção de compra de 17%, para os *chips* de batata-doce tratamento a aceitação apresentou queda de 30% e a intenção de compra permaneceu nula.

**Tabela 10.4** Médias das notas referentes aos atributos avaliados nos dias 1 e 60 de estocagem.

Atributos	Dia 1		Dia 60	
	Controle	Tratamento	Controle	Tratamento
Aparência Global	7,54 ± 0,93 <sup>aA</sup>	4,40 ± 1,75 <sup>bcB</sup>	6,86 ± 1,47 <sup>abA</sup>	4,16 ± 1,73 <sup>bcB</sup>
Cor	7,64 ± 1,14 <sup>aA</sup>	4,50 ± 1,67 <sup>bB</sup>	7,14 ± 1,39 <sup>aA</sup>	4,04 ± 1,82 <sup>bcB</sup>
Aroma	7,44 ± 1,30 <sup>aA</sup>	6,14 ± 1,83 <sup>aB</sup>	6,92 ± 1,47 <sup>aA</sup>	6,08 ± 1,76 <sup>aB</sup>
Sabor	7,08 ± 1,41 <sup>abA</sup>	4,58 ± 1,93 <sup>bcB</sup>	6,52 ± 1,52 <sup>abA</sup>	4,72 ± 2,26 <sup>bB</sup>
Textura	5,40 ± 1,94 <sup>cA</sup>	2,32 ± 1,48 <sup>dB</sup>	6,04 ± 1,67 <sup>bA</sup>	1,76 ± 0,89 <sup>dB</sup>
Impressão Global	6,48 ± 1,64 <sup>bA</sup>	3,52 ± 1,52 <sup>cB</sup>	6,70 ± 1,22 <sup>abA</sup>	3,40 ± 1,37 <sup>cB</sup>
Aceitação *	88%	6%	86%	4%
Intenção de Compra *	78%	0%	64%	0%

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

\* Porcentagem de sim dos provadores.

A regressão logística foi utilizada para verificar os atributos que são realmente relevantes na aceitação e intenção de compra dos *chips* de batata-doce controle e tratamento, no dia 1 (Tabela 10.5) e 60 dias de estocagem (Tabela 10.6).

Para aceitação dos *chips* de batata-doce controle, no dia 1 de estocagem, não houve atributo significativo. Os atributos textura e impressão global foram estatisticamente significativos para intenção de compra de *chips* de batata-doce controle, no dia 1 de estocagem. A textura apresentou maior influência negativa (-3,048), em relação à intenção de compra para os provadores, com valor de *odds-ratio* de 2,952, o que significa que, para aumentar a intenção de compra dos *chips* de batata-doce controle, seria necessário melhorar a textura deste produto, e alterando este atributo, a probabilidade de aceitabilidade é 2,952 vezes maior do que se alterar qualquer outro atributo. A impressão global foi um atributo significativo, no entanto, constitui-se em um atributo subjetivo, já que representa a soma de todos os outros atributos da análise sensorial. Logo, modificar a impressão global do produto é uma tarefa difícil, como pode ser observado pelo baixo valor de *odds-ratio* (0,143).

Os *chips* de batata-doce controle, após 60 dias de estocagem, não apresentaram atributos significativos, ao nível de 5% de significância para aceitação e intenção de compra.

Para a aceitação dos *chips* de batata-doce tratamento, no dia 1 de estocagem, os atributos textura, sabor e aroma foram significativos ao nível de 5% de significância, sendo que o aroma apresentou influência positiva. Os atributos textura e sabor foram os que mais influenciaram negativamente, fazendo com que os provadores atribuíssem 94% de nota “não” ao produto. Este resultado pode estar relacionado com a própria natureza do vegetal, espessura da fatia, baixa umidade e incorporação de óleo provocada pela desidratação osmótica, cobertura comestível e fritura do produto final. Analisando os parâmetros e os *odds-ratio* dos atributos significativos, verifica-se

que a textura apresenta o maior valor, ou seja, para aumentar a aceitação dos *chips* de batata-doce tratamento, seria necessário melhorar a textura, conseqüentemente, a probabilidade de aceitação aumentaria 3,414 vezes em relação a qualquer outro atributo. Após 60 dias de estocagem, os *chips* de batata-doce tratamento não apresentaram atributos significativos ao nível de 5% de significância.

Não foi possível aplicar a regressão logística para a intenção de compra de *chips* de batata-doce tratamento, no dia 1 e 60 de estocagem, em virtude de 100% das respostas serem “não”, o que resultou em ausência de variabilidade.

Pela avaliação dos dados da análise sensorial dos *chips* de batata-doce controle e tratamento, pode ser observado que o atributo textura influenciou a aceitação e intenção de compra do produto, tanto no dia 1, como no dia 60 de estocagem. Comportamento semelhante foi encontrado por ANTONIO (2006) em *snacks* de batata-doce, com espessura de 5mm, desidratadas osmoticamente e seguidas pelo processo de secagem HTST (*High Temperature and Short Time*) em que os provadores deram notas baixas (2,4) e alegaram textura muito dura.

**Tabela 10.5** Parâmetros, probabilidade e valores de odds-ratio para predição de aceitação e intenção de compra de *chips* de batata-doce controle e tratamento para o dia 01.

<b>Controle</b>		<b>Aceitação - Dia 01</b>			<b>Intenção de Compra - Dia 01</b>		
<b>Atributos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	
Aparência global	1,616	0,744	1,523	1,377	0,323	1,963	
Cor	0,237	0,923	0,884	0,508	0,506	1,662	
Aroma	0,596	0,884	1,507	0,101	0,863	0,903	
Sabor	3,075	0,884	1,046	1,944	0,088	0,142	
Textura	-8,049	0,736	1,350	-3,048	0,003	2,952	
Impressão global	-6,575	0,704	2,001	-1,948	0,025	0,143	
<b>Tratamento</b>		<b>Aceitação – Dia 01</b>			<b>Intenção de Compra – Dia 01</b>		
<b>Atributos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	
Aparência global	-0,410	0,302	1,507				
Cor	-0,160	0,700	0,852				
Aroma	0,911	0,033	0,402				
Sabor	-0,969	0,017	2,636				
Textura	-1,346	0,038	3,414				
Impressão global	-0,907	0,162	0,403				

**Tabela 10.6** Parâmetros, probabilidade e valores de odds-ratio para predição de aceitação e intenção de compra de *chips* de batata-doce controle e tratamento para o dia 60.

<b>Controle</b>		<b>Aceitação - Dia 60</b>			<b>Intenção de Compra - Dia 60</b>		
<b>Atributos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	
Aparência global	1,721	0,565	0,203	0,517	0,587	1,677	
Cor	2,386	0,080	0,249	1,431	0,189	0,238	
Aroma	0,311	0,641	0,732	0,106	0,882	0,899	
Sabor	0,632	0,609	1,881	0,115	0,866	1,122	
Textura	-1,888	0,071	2,088	-3,685	0,248	1,984	
Impressão global	-1,361	0,063	0,004	-0,077	0,199	0,046	

<b>Tratamento</b>		<b>Aceitação – Dia 60</b>			<b>Intenção de Compra – Dia 60</b>		
<b>Atributos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pr&gt;x<sup>2</sup></b>	<b>Odds ratio</b>	
Aparência global	-1,091	0,508	0,258				
Cor	-0,194	0,941	0,822				
Aroma	4,236	0,452	1,919				
Sabor	-5,436	0,370	1,001				
Textura	-6,104	0,865	2,186				
Impressão global	3,150	0,622	1,340				

#### 4 Conclusão

Os *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram algumas diferenças significativas nas características físico e físico-químicas com a estocagem do produto. No entanto, estas não foram detectadas alterações nas características sensoriais pelos provadores, indicando que os *chips* de batata-doce podem ser estocados por 60 dias sem perdas das características sensoriais.

Os *chips* de batata-doce controle apresentaram as melhores características físicas e físico-químicas, e melhor aceitação sensorial durante os 60 dias de estocagem, comparado aos *chips* de batata-doce tratamento.

A textura foi o atributo que apresentou maior influência negativa na aceitação e intenção de compra de *chips* de batata-doce controle e tratamento. A textura rígida, possivelmente, pode estar relacionada com a natureza do vegetal e espessura da fatia utilizada. Realizando o emprego de processos tecnológicos seria possível melhorar a textura deste produto, aumentando a aceitação e a intenção de compra do produto.

#### 5 Referências bibliográficas

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed., Saint Paul: AACC, 1995.

ANISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 20 de abril de 2009.

ANTONIO, G.C. **Avaliação do efeito dos pré-tratamentos de desidratação osmótica e secagem HTST na obtenção de snacks de batata-doce (*Ipomoea Batatas Lam*)**. 2006. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

AOCS, AMERICAN OIL CHEMIST'S SOCIETY. Official methods and recommended practices of the AOCS. 4<sup>a</sup> ed. Champaign, 1997; 2004.

BERTOLINI SUÁREZ, R.; CAMPOÑONE, L.A.; GARCÍA, M.A.; ZARITZKY, N.E. Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. **Journal of Food Engineering**, v.84, p.383-393, 2008.

BRASIL. Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), v.196. Seção I, p.82-87. 13 de outubro de 1999.

CARULO, M. F., **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos contendo sorbato de potássio, feitos de alginato de cálcio e ácidos graxos**. 2005. 136p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

CEPAGRI. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso em: 15 abril de 2009.

COUNCIL, K.A. Analysis of variance. In: HELWIG, J.T. (Ed). **SAS Introductory guide**. 3 ed. Cary: SAS Institute, 1985, p. 55-60.

GARCIA, M.A.; FERRERO, C.; BERTOLA, N.; MARTINO, M.; ZARITZKY, N. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.3, p.391-397, 2002.

GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technology**. v.54, n.2, p.62-63, 2000.

GRIZOTTO, R.K.; MENEZES, H.C. Avaliação da aceitação de “chips” de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p.79-86, 2003.

HOSMER, D.W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. Toronto: Wiley and Sons, 2000.

IKOKO, J.; KURI, V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. **Food Chemistry**, v.102, p.523-531, 2007.

MACDOUGALL, D.B. Colour measurement of food. **Woodhead Publishing Limited and CRC Press**, LLC, cap.3, 2002.

MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M.S.; BALASUBRAMANIAM, V.M.; PHILLIPS, R.D. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.30, p. 709-714, 1997.

MINIM, V.P.R. Análise sensorial: estudos com consumidores. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2006, 225p.

MOYANO, P.C.; BERNA, A.Z. Modelling water loss during frying of potato strips: effect of solute impregnation. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1303-1318, 2002.

QUERIDO, A.F. **Estudo de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 219p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SALVADOR, A.; VARELA, P.; SANZ, T.FISZMAN. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. **Food Science and Technology**, v.42, p.763-767, 2009.

SINGTHONG, J.; THONGKAEW, C. Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. **Food Science and Technology**, v.42, p. 1199-1203, 2009.

SOLER, L. **Development of non-dairy frozen dessert containing soy protein and coconut milk**. MS thesis. Baton Rouge, La: Louisiana State Univ. 74p., 2005.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory Evaluation Practices**, 2 ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1993, 311p.

TFOUNI, S.A.V.; MACHADO, R.M.D.; GARCIA, L.C.; AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. Batata chips e palha. **Agronegócio 3**. Campinas: ITAL, 73p. 2003.

TOREZAN, G.A.P. **Desenvolvimento do processo combinado de desidratação osmótica-fritura para obtenção de chips de manga**. 2005. 269p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VERGARA, P.; WALLY, A.P.; PESTANA, V.R.; BASTOS, C.; ZAMBIAZI, R.C. Estudo do comportamento de óleo de soja e de arroz reutilizados em frituras sucessivas de batata. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA)**, Curitiba, v.24, n.1, p.207-220, 2006.

WILLIAMS, R.; MITTAL, G.S. Low-fat fried foods with edible coatings: modeling and simulation. **Journal of Food Science**, v.64, p.317-322, 1999.



## Conclusão geral

O desenvolvimento de *chips* de batata-doce com baixa incorporação de óleo foi possível devido aos processos combinados (pré-tratamentos) de desidratação osmótica e aplicação de cobertura comestível de metilcelulose, reduzindo em 55,75% a absorção de óleo após o processo de fritura.

A desidratação osmótica para *chips* de batata-doce foi mais eficaz nas seguintes condições de processo: (i) concentração de glicerol/CaCl<sub>2</sub> de 30/1; (ii) concentração de xarope de glicose de 63,75%, (iii) temperatura de 48°C e (iv) tempo de 120 minutos.

As melhores condições operacionais identificadas para o processo de fritura de *chips* de batata-doce frito em oleína de palma visando à minimização do teor de óleo incorporado e de umidade foi: (i) temperatura de 160°C e (ii) tempo de 3 minutos e 30 segundos.

Os *chips* de batata-doce controle e tratamento apresentaram algumas diferenças significativas estatisticamente nas características físico e físico-químicas com a estocagem do produto, no entanto, não foi detectada alterações sensoriais pelos provadores, indicando que os *chips* de batata-doce podem ser estocados por 60 dias sem perdas das características sensoriais.

Os *chips* de batata-doce sem tratamento apresentaram melhores características físicas e físico-químicas e aceitação sensorial durante os 60 dias de estocagem, comparado aos *chips* de batata-doce desenvolvidos neste estudo.

A textura foi o atributo que apresentou maior influência negativa na aceitação e intenção de compra de *chips* de batata-doce controle e tratamento. A textura rígida, possivelmente, está relacionada com a natureza do vegetal e espessura da fatia utilizada. Realizando o emprego de processos tecnológicos seria possível melhorar a textura deste produto, melhorando a aceitação e a intenção de compra do produto final.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar condições operacionais intermediárias do processo de desidratação osmótica e fritura que proporcionem uma umidade final dos *chips* de batata-doce mais alta, favorecendo a textura do vegetal, uma vez que a minimização de 25% de óleo seria suficiente para o produto ser denominado *light* segundo legislação.

Realizar testes com outros hidrocolóides como coberturas comestíveis visando a minimização do teor de óleo dos *chips* de batata-doce.

Aplicar o mesmo procedimento para outros vegetais e avaliar o comportamento dos mesmos.