



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

**DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO COMBINADO DE  
DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA-FRITURA PARA OBTENÇÃO DE  
*CHIPS* DE MANGA**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

**Gabriela A Pompeu Torezan**

Engenheira de Alimentos  
Mestre em Tecnologia de Alimentos

Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes

Orientadora

Campinas, 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

T631d Torezan, Gabriela Aparecida Pompeu  
Desenvolvimento do processo combinado de desidratação  
osmótica-fritura para obtenção de chips de manga / Gabriela  
Aparecida Pompeu Torezan. – Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Hilary Castle de Menezes  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Fritura. 2. Desidratação osmótica. 3. Superfície de  
resposta – Metodologia. 4. Pressão atmosférica. 5. Vácuo. I.  
Menezes, Hilary Castle de. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Título em inglês: Development of a combined process of osmotic dehydration and  
frying to obtain mango chips

Palavras-chave em inglês (Keywords): Deep fat frying, Osmotic dehydration, Response  
Surface – Methodology, Atmospheric pressure, Vacuum

Titulação: Doutor em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Hilary Castle de Menezes

Miriam Dupas Hubinger

Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves

Jean Dominique Pallet

Regina Kitagawa Grizotto

Helena Maria André Bolini

## **BANCA EXAMINADORA**

---

**Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes**

(Orientadora – DTA – FEA – UNICAMP)

---

**Profa. Dra. Helena Maria André Bolini**

(Membro – DEPAN – FEA – UNICAMP)

---

**Profa. Dra. Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves**

(Membro – DTA – FEA – UNICAMP)

---

**Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger**

(Membro – DEA – FEA – UNICAMP)

---

**Dra. Regina Kitagawa Grizotto**

(Membro – ITAL)

---

**Dr. Jean Dominique Pallet**

(Membro – CIRAD)

PARA SER GRANDE, sê inteiro: nada  
Teu exagera ou exclui.  
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes.  
Assim em cada lago a lua toda  
Brilha, porque alta vive.

Ricardo Reis

A meus queridos pais, Martinho e Magali,  
pelo amor, dedicação e apoio irrestritos e incondicionais.



## AGRADECIMENTOS

À minha querida orientadora Profa Dra Hilary Castle de Menezes, exemplo de docente, pesquisadora, e pessoa, pela conduta, integridade, competência e enorme coração, agradeço pela orientação, apoio, confiança e amizade.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, especialmente ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de realizar a minha formação acadêmica.

Ao CIRAD, nas pessoas do pesquisador Dr. Dominique Pallet pela oportunidade do estágio, e dos pesquisadores Dr. Max Reynes (FLHOR- Productions Fruitières et Horticoles), e Prof. Dr. Philippe Bohuon (AMIS- Amélioration des Méthodes pour l'Innovation Scientifique), pela orientação.

A todos os membros da banca, pelas correções e sugestões fundamentais para a melhora da redação da tese.

Aos órgãos de fomento: CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado, FAPESP, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento do trabalho, através do Auxílio Pesquisa, e CAPES, pela bolsa do Programa PDEE (Doutorado no País com Estágio no Exterior).

À Empresa Agropalma, pela concessão do óleo de palma utilizado nos experimentos.

Ao laboratório de Óleos e Gorduras do Departamento de Tecnologia de Alimentos – FEA – UNICAMP, pela análise de composição do óleo de palma.

A Adriane, Antônia e Cidinha, do laboratório de Microscopia do Instituto de Biologia da UNICAMP, pela ajuda e suporte nas análises de microscopia eletrônica.

Aos colegas e bolsistas de iniciação científica Paulo de Campos Carneiro Favareto e Maria Augusta Donato Gonçalves, pela grande contribuição na parte experimental da tese.

Aos provadores das equipes sensoriais das várias etapas de desenvolvimento dos *chips* de manga.

A todos amigos e colegas do Laboratório de Frutas, Hortaliças e Produtos Açucarados e do DTA (que são tantos e portanto difícil de citar sem correr o risco de esquecer alguém!) com quem partilhei tantos e tão bons dias de doutorado.

Às queridas Ana e Pri, pelo carinho, amizade e grande ajuda de sempre! E ao querido Adauto, pela ajuda e agradável companhia de tantos anos.

À minha família em Montpellier, Regina, Pri, Ana e Lúcio, pela acolhida, apoio e grande amizade que fizeram de Montpellier minha segunda casa; e ao querido Marc, por sua simpatia e calorosa acolhida no CIRAD.

Aos meus amigos mais queridos, Fara, Tuchi, Fabinho e Tina, por serem os mais certos nas horas certas e incertas, por tantos anos de apoio, ajuda, ouvido e alegrias.

Ao meu querido Guillaume, por me mostrar que o amor é possível, generoso e amigo.

À minha família, pai, mãe, Gio, Tás, Sérgio, Rafinha, Isadora (e Barão), por toda ajuda, paciência, apoio e amor, principalmente.

A Deus, pela luz.

## ÍNDICE

<b>RESUMO GERAL</b> .....	xvii
<b>GENERAL SUMMARY</b> .....	xix
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	2
Objetivo geral.....	2
Objetivos específicos.....	2
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	7
<b>MANGA</b> .....	7
Histórico e botânica.....	7
Dados econômicos.....	8
Características físicas e químicas.....	11
Cultivares Tommy Atkins e Palmer.....	12
<b>DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA</b> .....	15
Fundamentos do processo.....	17
Fatores que afetam o processo de desidratação osmótica.....	19
<i>Propriedades dos tecidos biológicos</i> .....	19
<i>Concentração e composição da solução osmótica</i> .....	20
<i>Temperatura</i> .....	22
<i>Tempo de processo</i> .....	23
<i>Aplicação de vácuo</i> .....	23
<i>Agitação do sistema</i> .....	24
<b>FRITURA</b> .....	24
Tipos de fritura.....	25
Fundamentos do processo.....	26

Fatores que afetam o processo de fritura.....	27
<i>Relacionados ao processo.....</i>	28
<i>Relacionados ao óleo de fritura.....</i>	28
<i>Relacionados ao alimento.....</i>	30
Transferência de calor e massa (perda de vapor) durante o processo de fritura por imersão.....	30
Incorporação de óleo.....	32
Tipos de produtos fritos.....	34
Mudanças no óleo e no alimento.....	35
Aspectos nutricionais.....	41
Combinação dos processos de desidratação osmótica e fritura.....	41
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>

<b>CAPÍTULO 2: ESTUDO DA VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO DE ÓLEO DE FRITURA DE MANGA, BASEADO NAS CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO E DO ÓLEO.....</b>	<b>61</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>61</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>62</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
Material.....	66
Equipamento de fritura.....	66
Determinação da razão produto:óleo.....	67
Estudo da viabilidade de reutilização do óleo baseado nas características do produto e do óleo .....	67
Determinações analíticas.....	68
Análise estatística .....	68
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>68</b>

Determinação da razão produto:óleo através do perfil de temperatura durante fritura.....	68
Determinações analíticas no produto .....	71
Acidez do óleo.....	73
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
<b>CAPÍTULO 3: USE OF A COMBINED PROCESS OF OSMOTIC DEHYDRATION AND DEEP-FAT FRYING TO OBTAIN MANGO CHIPS FROM THE VARIETY TOMMY ATKINS.....</b>	<b>79</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>79</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>80</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>81</b>
<b>MATERIAL AND METHODS.....</b>	<b>83</b>
Material.....	83
Determination of fruit cut – removal or otherwise of the skin, slice form and thickness ....	83
Study of the pre-treatment – osmotic dehydration at atmospheric pressure (OD) and under vacuum (ODV) .....	84
Comparison of the pre-treatments of osmotic dehydration at atmospheric pressure and under vacuum, with respect to chip quality.....	85
Physicochemical determinations of the raw material, the pre-dehydrated slices and the chips.....	85
Determination of the colour parameters.....	85
Sensory analysis.....	85
<b>RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>86</b>
Determination of fruit cut.....	86
Study of the pre-treatment – osmotic dehydration at atmospheric pressure and under vacuum .....	87

Comparison of the pre-treatments of osmotic dehydration at atmospheric pressure and under vacuum with respect to the quality of the chips produced.....	88
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>90</b>
<b>LITERATURE CITED.....</b>	<b>91</b>

<b>CAPÍTULO 4: OSMOTIC DEHYDRATION OF MANGO: EFFECTS OF TEMPERATURE AND TIME PROCESS.....</b>	<b>93</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>93</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>94</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>95</b>
<b>MATERIAL AND METHODS.....</b>	<b>96</b>
Sample preparation.....	96
Osmotic dehydration.....	96
Experimental design and statistical analysis.....	97
<b>RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>105</b>

<b>CAPÍTULO 5: EFEITO DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COMO PRÉ TRATAMENTO À FRITURA NAS CARACTERÍSTICAS DE CHIPS DE MANGA.....</b>	<b>109</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>109</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>110</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>111</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>112</b>
Material.....	112
Desidratação osmótica.....	113

Fritura.....	113
Determinações analíticas.....	115
<i>Sólidos Totais</i> .....	115
<i>Lipídeos</i> .....	115
<i>Parâmetros de cor</i> .....	115
<i>Textura instrumental</i> .....	116
Análise sensorial .....	116
Análise estatística.....	118
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	118
Desidratação osmótica.....	118
Caracterização dos <i>chips</i> de manga obtidos por diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica e fritura.....	120
Caracterização físico-química.....	120
Textura.....	121
Parâmetros de cor .....	123
Análise sensorial .....	124
<b>CONCLUSÕES</b> .....	127
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	127
<b>CAPÍTULO 6: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE CHIPS DE MANGA OBTIDOS PELO PROCESSO DE FRITURA POR IMERSÃO ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA</b> .....	131
<b>RESUMO</b> .....	131
<b>SUMMARY</b> .....	132
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	133
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	135

Material.....	135
Desidratação osmótica .....	135
Fritura.....	135
Planejamento experimental (RSM) .....	136
Metodologia analítica.....	138
Análise sensorial.....	138
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>139</b>
Teor de Umidade.....	141
Teor de lipídeos em base seca e úmida.....	144
Parâmetros de Cor.....	148
Análise sensorial.....	156
<i>Aceitação sensorial da aparência e da cor</i> .....	160
<i>Aceitação sensorial do aroma e do sabor</i> .....	163
<i>Aceitação sensorial da textura</i> .....	166
<i>Intenção de compra</i> .....	168
Escolha das faixas de tempo e temperatura .....	168
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>169</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>170</b>
Anexos.....	174

**CAPÍTULO 7: INFLUÊNCIA DA VARIEDADE E DO ESTADO DE MATURAÇÃO NA QUALIDADE FINAL DE CHIPS DE MANGA.....179**

**RESUMO.....179**

**SUMMARY.....180**

**INTRODUÇÃO.....181**

**MATERIAL E MÉTODOS.....182**

Material.....182

Desidratação

Osmótica.....	186
Fritura.....	186
Determinações analíticas na manga <i>in natura</i> e nos <i>chips</i> .....	187
<i>pH</i> .....	187
<i>Sólidos totais e umidade</i> .....	187
<i>Sólidos solúveis</i> .....	187
<i>Acidez titulável total</i> .....	187
<i>Açúcares redutores e totais</i> .....	187
<i>Ácido Ascórbico (vitamina C)</i> .....	187
<i>Lipídios totais</i> .....	187
<i>Fibra dietética total</i> .....	187
<i>Cor</i> .....	188
<i>Textura instrumental</i> .....	188
Análise	
Sensorial.....	188
Análise estatística.....	188
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	189
Caracterização das matérias-primas.....	189
Caracterização dos <i>chips</i> .....	192
Análise sensorial.....	201
<b>CONCLUSÕES</b> .....	202
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	202

<b>CAPÍTULO 8: MICROSTRUCTURE AND ADSORPTION CHARACTERISTICS OF MANGO CHIPS OBTAINED BY OSMOTIC DEHYDRATION AND DEEP FAT FRYING.....</b>	<b>209</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>209</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>210</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>211</b>
<b>MATERIALS AND METHODS.....</b>	<b>213</b>
Materials.....	213
Osmotic dehydration .....	213
Frying experiments.....	213
Physicochemical characterisation.....	214
Electron microscopy.....	214
Measurement of Moisture Adsorption.....	215
<b>RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>216</b>
Physicochemical characterisation .....	216
Microstructure analyses.....	217
Adsorption isotherms.....	223
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>226</b>
<b>LITERATURE CITED.....</b>	<b>226</b>
<b>CAPÍTULO 9: ESTUDO DA APLICAÇÃO DE VÁCUO NO PROCESSO DE FRITURA PARA OBTENÇÃO DE CHIPS.....</b>	<b>231</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>231</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>232</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>233</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>234</b>
Material.....	234
Preparo das amostras.....	234
Dispositivo experimental de fritura .....	235

Processo de fritura.....	236
Parte I: Estudo da vaporização da água em diferentes condições de temperatura e pressão.....	239
Parte II: Estudo do desenvolvimento de cor de <i>chips</i> de maçã durante fritura sob diferentes condições de temperatura e pressão.....	240
Medida contínua da perda de água em forma de vapor.....	240
Medida analítica do teor de umidade.....	241
Análise instrumental de cor.....	241
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>242</b>
Parte I.....	242
Parte II.....	246
Comparação entre as diferentes condições de temperatura e pressão.....	246
Efeito do pré tratamento de desidratação osmótica no desenvolvimento da cor.....	251
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>257</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>257</b>
<b>CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>261</b>
<b>Citações dos trabalhos apresentados/publicados.....</b>	<b>265</b>

## RESUMO GERAL

O desenvolvimento de novos produtos visando o uso de matérias-primas nacionais é de grande interesse para a economia do país, uma vez que agrega valor ao produto e diminui o grande excedente da produção que resulta muitas vezes em perdas. A manga possui apreciação de destaque dentre as frutas tropicais em todo o mundo, é uma matéria-prima barata, presente em abundância em nosso país, mas em contrapartida as perdas da produção chegam a até 30%. Dentro desse contexto e aliando-se o aumento nos últimos tempos da procura por produtos de conveniência, o Departamento de Tecnologia de Alimentos da Unicamp em parceria com o CIRAD (Centre de Coopération International em Recherche Agronomique pour le Développement) – Montpellier/França, implantou uma nova linha de pesquisa que visa expandir a aplicação de fritura em frutas para a produção de *chips*, da qual faz parte o presente trabalho, tendo como matéria prima a manga. Os estudos foram direcionados a fim de se obter parâmetros otimizados de processos, tipo de pré tratamento (desidratação osmótica), variedade e ponto de maturação da matéria-prima, e caracterização dos produtos finais, quanto aos aspectos químicos, físicos, microscópicos e sensoriais. Primeiramente foram estudadas e estabelecidas algumas condições de processo de fritura, como: razão fruta:óleo (p/p) de 1:4, reutilização do óleo até 15 frituras (3 minutos cada à temperatura de 160°C); espessura das fatias de 3mm, sem descascamento e desidratação osmótica à pressão ambiente com agitação. Em seguida, o pré tratamento de desidratação osmótica foi estudado através da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), verificando-se um aumento das taxas de transferência de massa com aumento do tempo e temperatura; a imersão em banhos consecutivos de solução osmótica com concentração crescente (35, 45 e 65 °Brix; 35 e 65°Brix), empregada a fim de se aumentar o teor de sólidos finais do produto desidratado osmoticamente também foi avaliada; os resultados mostraram no entanto que o aumento dos sólidos obtido pelo uso dos banhos não acarretou em aumento da qualidade final dos *chips* (aceitação sensorial).

Estabelecida a condição de desidratação osmótica (80 minutos, 40°C, agitação de 200rpm, solução sacarose 65°Brix, relação fruta e solução 1:4 (p/p)), o processo de fritura foi estudado através da MSR, sendo analisados os teores de umidade, lipídeos, parâmetros de cor (L\*, a\*, b\*) e aceitação sensorial (aparência, cor, aroma, sabor, textura e intenção de compra). As respostas teor de umidade e aceitação da cor e do sabor foram escolhidas para definição da faixa ótima de tempo (140-180s) e temperatura (155-165°C) de fritura. Estabelecidas as condições do método combinado desidratação osmótica – fritura, foram comparados os *chips* de manga das cultivares Tommy Atkins e Palmer, nos estágios de maturação verde, “de vez” e maduro. As análises mostraram que a matéria-prima das duas cultivares, no ponto de maturação verde e “de vez”, foram as de melhor qualidade. As micrografias dos *chips* de manga apresentaram encolhimento da matriz celular, células plasmolizadas, resultantes da rápida evaporação da água devido à alta temperatura de processo, e glóbulos de óleo aderidos na superfície do tecido ou nos poros criados pela saída da água. As isotermas de sorção dos *chips* de manga Tommy Atkins e Palmer apresentaram característica do tipo III, e o fenômeno de adsorção começou em atividade de água 0,4, indicando uma boa estabilidade dos produtos. O último trabalho foi conduzido no CIRAD – França, e consistiu na aplicação de pressão reduzida durante o processo de fritura, e os efeitos observados no desenvolvimento de cor dos *chips*, utilizando uma fruta modelo (maçã Granny Smith). Os resultados revelaram a grande vantagem de aplicação de vácuo, com a obtenção de *chips* com menor teor de água e praticamente nenhum escurecimento em relação ao material *in natura*. A aplicação do processo combinado desidratação osmótica – fritura (à pressão atmosférica) para obtenção de *chips* de manga se mostrou prática, sem a necessidade de equipamentos sofisticados, econômica (uso de materiais abundantes e baratos, como a manga e a sacarose), resultando em um produto de boas características de qualidade, com baixos teores de umidade (2-5%) e de lipídeos (11-13%) e boa aceitação sensorial (variando entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente), mostrando ser uma ótima aplicação de tecnologia para desenvolvimento de um novo produto e agregação de valor à matéria-prima.

## GENERAL SUMMARY

The development of new products using national raw materials is of considerable importance to the national economy, adding value to the product and decreasing surplus production, resulting in increasingly smaller losses. Throughout the World, the mango stands out amongst the tropical fruits, being a cheap raw material, produced in abundance in this country, although currently, production losses reach 30%. In this context and considering the current demand for convenience foods, the Department of Food Technology/UNICAMP/Brazil in partnership with CIRAD (Centre de Coopération International em Recherche Agronomique pour le Développement), Montpellier/France, implanted a new research line aimed at expanding the application of frying to fruits, for the production of chips and this thesis is part of this research line. The studies were directed at optimising the process parameters, defining the type of pre-treatment (osmotic dehydration), raw material variety and maturation and characterising the final products with respect to their chemical, physical, microscopic and sensory aspects. Firstly some of the frying conditions were studied and established, such as: fruit:oil (w/w) ratio of 1:4; re-use of the frying oil up to 15 times without alterations of the oil or the product; 3mm thickness of the mango slices without peeling and osmotic dehydration at atmospheric pressure with agitation. The osmotic dehydration pre-treatment was then studied using Response Surface Methodology (RSM). Immersion in consecutive baths of increasingly concentrated osmotic solution (35, 45 and 65°Brix; 35 and 65°Brix) was also studied, aimed at increasing the final solids content of the osmotically dehydrated product. However, the results showed that this procedure did not result in an improvement in chip quality (sensory acceptance). Having determined the conditions for osmotic dehydration (80 minutes and 40°C), the frying process was studied using RSM, analysing the moisture and lipid contents, colour parameters (L\*, a\*, b\*) and sensory acceptance (appearance, colour, aroma, flavour, texture and intent to buy). The responses of moisture content, colour and taste acceptance were

chosen to define the optimal ranges of time (140-180s) and temperature (155-165°C). Having established the conditions for the combined osmotic dehydration – deep fat frying method, mango chips made from the cultivars Tommy Atkins and Palmer were compared, and also the states of maturity (mature green, half ripe and ripe). The analyses showed that for both cultivars, the mature green and the half ripe states of maturity gave the best quality chips. The chip micrographs presented a shrunk cellular matrix, plasmolyzed cells, results of the rapidly evaporated surface water by the high temperature process and oil globules adhered at the surface tissue or at the porous created by the water vaporisation. The sorption isotherms of Tommy Atkins and Palmer mango chips had type III characteristics, and the adsorption phenomenon starts at water activity above 0.4, showing good product stability. The last part of the study was conducted at CIRAD, France, and consisted of the application of reduced pressure during the frying process of a model fruit (Granny Smith apples), and the effects observed on chip colour development. The results showed the great advantage of applying vacuum, obtaining chips with lower moisture content and almost no darkening as compared to the raw material. The application of the combined osmotic dehydration – frying method (at atmospheric pressure) to obtain mango chips was shown to be practical, not requiring sophisticated equipment, economic (use of cheap, abundant raw materials, such as mango and sucrose), resulting in a product with good quality characteristics, low moisture (2 - 5%) and lipid (11 – 13%) contents and good sensory acceptance (6-7), showing itself to be an optimum technological application to develop a new product and add value to the raw material

## INTRODUÇÃO

O mercado de *chips* e *snacks* vem ocupando um espaço cada vez maior ultimamente, particularmente nos centros urbanos. Grande parte desses produtos são *chips* de batata ou de outras matérias-primas ricas em amido, como banana (AMMAWATH *et al.*, 2002), plátano (*Musa paradisiaca* L.) (DIAZ *et al.*, 1996; TRELEA *et al.*, 1997; DIAZ *et al.*, 1999), batata doce (LENG *et al.*, 1997) e mandioca (VITRAC, DUFOUR e RAOULT-WACK, 1997; VITRAC *et al.*, 2002; GRIZOTTO, 2000). *Chips* de plátanos são bastante populares na África, e os chamados *patacones* e *tajadas*, pedaços da fruta verde frita, são muito comuns em países da América Latina. Os *chips* de frutas com baixo teor de amido, como maçã (SHYU e HWANG, 2001) e abacaxi (REYNES, AYMARD e AW, 1997; ATHANASE, 1998), 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.

Fora do âmbito acadêmico, comercialmente no Brasil os *chips* de frutas existentes obtidos pelo processo de fritura, são principalmente *chips* de banana, geralmente produzidos por pequenas empresas e muitas vezes de forma artesanal. *Chips* (fritos) de maçã existem no mercado externo, como o americano, apresentando uma forte tendência à expansão, podendo ser utilizadas outras frutas, como as tropicais, que apresentam grande aceitação.

A obtenção de *chips* de fruta 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, principalmente tempo e temperatura. Altas temperaturas, usualmente empregadas em processo de fritura, 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 através do emprego de pré tratamentos que diminuam o teor de umidade inicial, através da desidratação parcial do alimento antes da

fritura.

Nos últimos anos, a desidratação osmótica, processo que consiste na imersão de alimentos em uma solução concentrada, resultando em desidratação e impregnação parciais do material, tem sido bastante utilizada como um pré tratamento em processos de conservação de frutas e hortaliças, devido ao aumento da qualidade organoléptica dos produtos finais (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; RAOULT-WACK, 1994; SHI, FITO e CHIRALT, 1995; TORREGIANI e BERTOLO, 2001). Como pré tratamento da fritura, auxilia na menor incorporação de óleo e reduz o tempo de processo.

A manga é uma das frutas tropicais mais apreciadas no mundo inteiro, principalmente devido ao seu sabor exótico, sua cor e ser rica em vitaminas A e C. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de manga, porém a falta de qualidade do fruto para exportação, sua alta perecibilidade e pouca industrialização resultam em perdas pós-colheita.

Assim, a utilização da tecnologia combinada de desidratação osmótica e fritura ainda pouco explorada para frutas tropicais, em especial a manga, representa um interessante objeto de pesquisa, sendo uma alternativa de aproveitamento desta matéria-prima.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Obtenção de *chips* de manga através da otimização da tecnologia combinada dos processos de desidratação osmótica e fritura.

### **Objetivos específicos**

- Estabelecer as condições de uso do óleo de fritura (número de reutilizações, razão produto e óleo) (Capítulo 2) e de preparo da matéria-prima (espessura,

descascamento) (Capítulo3).

- Estudar e avaliar o efeito das condições de processo do pré tratamento de desidratação osmótica (tempo, temperatura, imersão em banhos sucessivos de solução osmótica com concentração crescente), na qualidade final dos *chips* de manga (Capítulos 4 e 5).
- Avaliar os efeitos das condições de processo de fritura, tempo e temperatura, nas características físico-químicas e aceitabilidade sensorial, através da Metodologia de Superfície de Resposta (Capítulo 6).
- Avaliar a influência do estágio de maturação (verde, “de vez” e maduro) e da variedade (Tommy Atkins e Palmer) de manga no processo combinado de desidratação osmótica e fritura, nas características físicas, físico-químicas e aceitabilidade sensorial dos *chips* (Capítulo 7).
- Avaliar as características de microestrutura e de adsorção de água dos *chips* de manga Palmer e Tommy Atkins (Capítulo 8).
- Avaliar o efeito da aplicação de pressão reduzida durante o processo de fritura na perda de água e no desenvolvimento de cor do produto. Nesta etapa, realizada no Instituto Cirad – Montpellier/França, utilizou-se uma fruta modelo, maçã da variedade Granny Smith, uma vez que os parâmetros de operação do processo à pressão atmosférica já estavam ajustados para esta matéria-prima, que não dependia de sazonalidade nem de importação, como no caso da manga (Capítulo 9).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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. 119 p. Memorial apresentado para obtenção de diploma – École Pratique des Hautes Etudes, Sciences de la Vie et de la Terre, Montpellier, França, 1998.

DIAZ, A.; TOTTE, A.; GIROUX, F.; REYNES, M.; RAOULT-WACK, A. L. Deep-fat frying of plantain (*Musa paradisiaca* L). I - Characterization 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.

GRIZOTTO, R. K. **Mandioca “chips”: uma tecnologia para aproveitamento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** 2000. 130 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

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

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 progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p.131-138, 1997.

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.

REYNES, M.; AYMARD, C.; AW, B. Production de chips d'ananas par le procédé combiné deshydratation osmotique-friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 139-150, 1997.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, n. 28, p. 445-454, 1995.

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.

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

TRELEA, I. C.; TRYSTAM, G.; COURTOIS, F.; RAOULT-WACK, A. L.; DIAZ, A. Modelisation et commande des procedes de friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 77-82, 1997.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A. L. Produits frits a base de manioc en Colombie: aptitude clonale et relation procede/qualite. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, 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.





## CAPÍTULO 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### **MANGA**

#### **Histórico e botânica**

A manga é originária da Ásia tropical, sendo atualmente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e das Américas (MEDINA *et al.*, 1981), em países como Índia, Paquistão, México, Brasil e China (PIZZOL *et al.*, 1998).

O Brasil foi o primeiro país americano a introduzir o cultivo da mangueira, trazida pelos colonizadores portugueses no século XVI (MEDINA *et al.*, 1981). Através das sementes, foram originadas as diversas variedades cultivadas, que representaram a mangicultura brasileira até a década de 1960 (CARVALHO *et al.*, 2004).

Em meados da década de 1970 foram introduzidas nos Estados de São Paulo e Minas Gerais novas cultivares vindas da Flórida, que ganharam importância econômica e boa aceitação pelos fruticultores, entre elas Tommy Atkins, Keitt, Palmer, Haden e Van Dyken (SOARES, 2000; CARVALHO *et al.*, 2004). Atualmente são responsáveis pela maior parte da produção e exportação do país, com destaque para a Tommy Atkins, com 79% da área cultivada (PINTO *et al.*, 2004) e 90% das exportações.

A família *Anarcadiaceae*, à qual pertence a manga (*Mangifera indica* L.), inclui um grande número de gêneros, a maioria árvores e arbustos. Outros membros desta família são o caju, a cajazeira, o umbu, a cirigüela, o cajá-manga e o pistache (MEDINA *et al.*, 1981; STAFFORD, 1983).

A mangueira possui porte médio a alto (10 a 30m), com copa de forma arredondada ou globosa, compacta ou aberta. As folhas são lanceoladas, coriáceas, com pedúnculo curto e coloração podendo ser verde clara, amarronzada ou arroxeadada, na fase jovem, e verde escura, na fase madura. Uma mangueira adulta em pleno florescimento pode ter milhões de flores, mas apenas uma porcentagem mínima chega a originar frutos (SILVA, FONSECA e

MOREIRA, 2005).

Os frutos da mangueira são drupas com tamanho, forma, peso e coloração da casca bastante variável, dependendo da variedade. A casca é coriácea e a polpa pode apresentar vários tons de amarelo, com muita ou pouca quantidade de fibras, que podem ser curtas ou longas, macias ou duras.

De maneira geral os frutos se dividem em dois grupos distintos: o grupo indiano (frutos monoembriônicos, fortemente aromáticos, de coloração atraente e susceptíveis à antracnose) e o grupo indochinês (frutos poliembrionicos, com caroços longos e achatados, pouco aromáticos, geralmente amarelados e medianamente resistentes à antracnose). As sementes também variam em forma e tamanho, podendo ser monoembriônicas ou poliembrionicas (SILVA, FONSECA e MOREIRA, 2005).

### **Dados econômicos**

Dentre as frutas comercializadas atualmente, a manga é uma das mais populares, em função do amplo consumo nos países asiáticos e da América Latina. Segundo dados da FAO de 2000, a área mundial cultivada em 1999 correspondia a 2,74 milhões de hectares com uma produção de 23,8 milhões de toneladas, sendo a Índia o principal produtor (50,3%), seguida pela China (9%), México (6,4%), Tailândia (5,2%), e o Brasil ocupando a nona posição (EMBRAPA, 2000).

As exportações mundiais de manga cresceram a uma taxa média de 8% ao ano durante o período de 1995 a 1998, e dados da FAO revelam que deverá ocorrer um aumento de 53% na demanda mundial de manga, podendo alcançando as 459 mil toneladas de fruta importada em 2005 (GUEDES e VILELA, 1999; PEROSA e PIERRE, 2002).

Porém, o comércio mundial de manga é pouco significativo quando comparado à produção. De acordo com estatísticas de 1998, o volume exportado foi de 510 mil toneladas, para uma produção de 23,8 milhões de toneladas, o que significa apenas 2,1% da quantidade produzida, demonstrando que quase toda a produção ainda é destinada ao

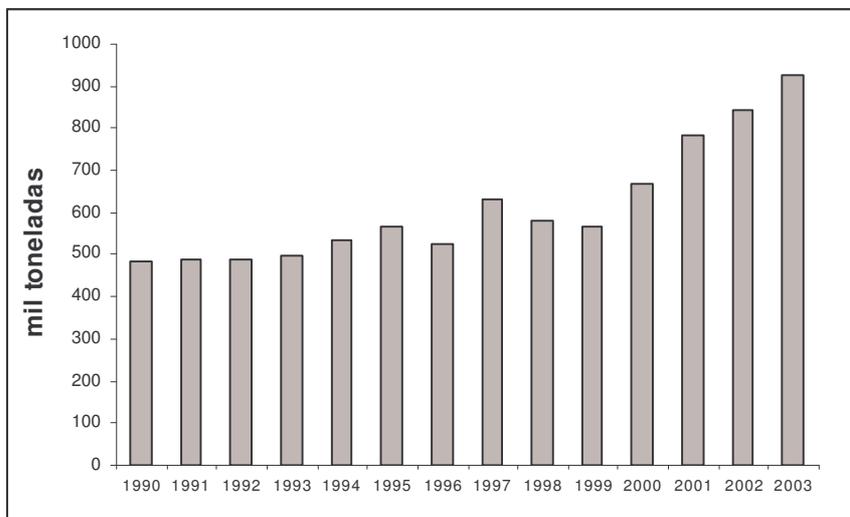
mercado interno dos países produtores (EMBRAPA, 2000).

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de manga, e segundo dados do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2005a,b), a área cultivada e a produção vêm aumentando nos últimos anos (Figura 1).

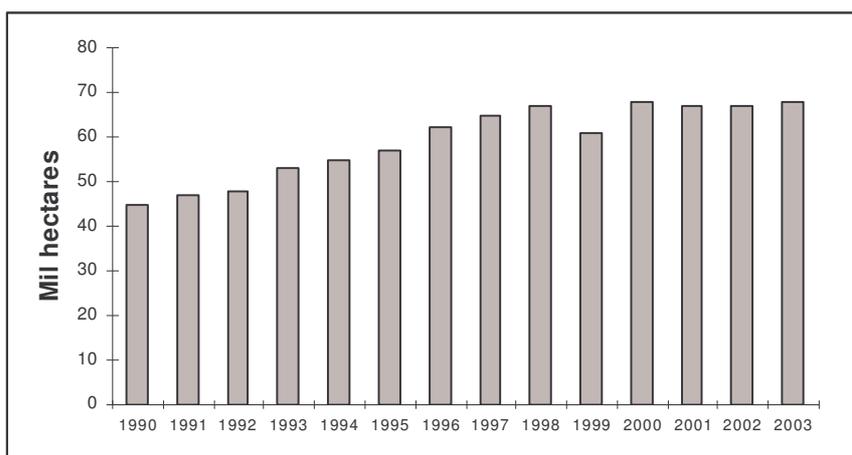
O Nordeste é a maior região produtora brasileira, com destaque para a região do vale do rio São Francisco, que no ano de 2000 foi responsável por mais de 24% da produção e cerca de 80% das exportações nacionais (PIRES, ALVES e SÃO JOSÉ, 2004).

Apesar da grande produção, o volume das exportações brasileiras, destinadas principalmente aos mercados norte americano e europeu, ainda é pequeno, acompanhando a tendência mundial. Em 2001, o Brasil exportou 94,2 mil toneladas de manga, cerca de 60,8 milhões de dólares (PINTO *et al.*, 2004), representando apenas 12% da produção deste ano (BRASIL, 2005b).

O pequeno volume exportado, aliado à alta perecibilidade e ao baixo aproveitamento na industrialização da matéria-prima e deficiências no transporte e estocagem, resultam em grande perda da produção, acima de 30% (SOUZA FILHO *et al.*, 1998; PINA *et al.*, 2003).



(a)



(b)

**Figura 1:** Produção de manga (a) e área cultivada (b) no Brasil entre 1990 e 2003.

## **Características físicas e químicas**

Os frutos variam em tamanho, forma, sabor, tamanho da semente, fibra e composição, dependendo da variedade. A forma é a mais variada, podendo ser oblonga, arredondada, alongada. Nos frutos maduros a cor da casca pode ser amarela, avermelhada, ou em algumas variedades verde, e a cor da polpa varia de amarelo a laranja.

Os carboidratos estão em elevadas concentrações na composição da manga, formados por amido, açúcares, celulose, pectina e tanino, variando de acordo com o grau de maturação do fruto. O teor de amido aumenta com o desenvolvimento fisiológico do fruto, e quando completo, inicia-se sua redução pela transformação em sacarose, açúcar predominante na manga madura (MEDINA *et al.*, 1981; BERNARDES-SILVA, LAJOLO e CORDENUNSI, 2003).

Quanto aos ácidos orgânicos, o cítrico e o málico são aqueles que estão em maior quantidade na manga, sendo que a acidez total da fruta, normalmente expressa em ácido cítrico, varia de acordo com o estágio de maturação do fruto (MEDINA *et al.*, 1981).

Segundo Stafford (1983), a manga é uma boa fonte de vitaminas A e C e outros elementos nutricionais, tais como ferro, sódio e potássio. O teor de carotenóides presentes na manga aumenta de acordo com a maturação, conferindo a cor amarela do fruto maduro. Dentre eles o  $\beta$ -caroteno está presente em maior quantidade, fato de extrema importância já que ele é o precursor da vitamina A. De forma inversa, o ácido ascórbico tem o seu teor diminuído com o amadurecimento do fruto (HULME, 1970, MEDINA *et al.*, 1981).

A pectina se encontra na parede celular da fruta, sendo que durante a maturação ocorre sua degradação, com redução do tamanho molecular e esterificação, representando a principal transformação química sofrida pela manga durante esse período (MEDINA *et al.*, 1981). Com a maturação do fruto há um aumento no teor de pectinas solúveis e conseqüente amolecimento do fruto (ROE e BRUEMMER, 1981).

Os principais minerais presentes na manga são cálcio, magnésio, potássio, silício, fósforo e ferro, variando de 0,26 a 1,16% na composição. Os lipídeos estão presentes em pequenas quantidades, sendo principalmente ácido palmítico e palmitoléico, sendo

responsáveis, juntamente com os componentes voláteis, como aldeídos e ésteres, pelo aroma e sabor da manga (MEDINA *et al.*, 1981).

### **Cultivares Tommy Atkins e Palmer**

De acordo com Embrapa (2005), a cultivar Tommy Atkins possui fruto de tamanho médio para grande, 460 g, com casca espessa e formato oval, coloração da casca atraente (laranja-amarela coberta com vermelho e púrpura intensa), polpa firme, suculenta, e teor de fibra médio. É resistente a antracnose e a danos mecânicos e com maior período de conservação. Precoce, amadurece bem se colhido imaturo. Apresenta problemas do colapso interno do fruto, malformação floral e teor inferior em sabor e de sólidos solúveis (16°Brix), quando comparado com as variedades Palmer e Haden. Apresenta facilidade para indução floral em época quente, alta produtividade e boa vida de prateleira (Figura 2a).

A cultivar Palmer é semi-anã, de copa aberta, com frutos possuindo casca roxa no estado de maturação “de vez” e vermelhos quando maduros. A polpa é amarelada, firme, bom sabor, com alto teor de sólidos solúveis (21,6° Brix), relação polpa/fruto de 72%, teor médio de fibras e casca fina. As sementes são monoembriônicas e compridas. Apresenta boa vida de prateleira e produções regulares e é bem aceita no mercado interno. A produção é tardia, permitindo prolongamento do período das safras (Figura 2b) (EMBRAPA, 2005).

Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas e físico-químicas de manga madura das cultivares Tommy Atkins e Palmer determinadas por diversos autores. A variação dos valores encontrados nos estudos para uma mesma cultivar pode estar associada a fatores como condições climáticas e de solo existentes nas diferentes regiões de cultivo.





**Foto:Embrapa Semi-árido**

(a)



**Foto:Embrapa Semi-árido**

(b)

**Figura 2:** Manga das cultivares Tommy Atkins (a) e Palmer (b).

**Tabela 1:** Caracterização física e físico-química de manga madura das cultivares Tommy Atkins e Palmer por diversos autores.

<b>Características</b>	<b>Tommy Atkins</b>	<b>Palmer</b>
Comprimento (cm)	10,1 <sup>f</sup> - 11,88 <sup>a</sup>	11,9 <sup>f</sup> - 12,42 <sup>b</sup> - 14,2 <sup>a</sup>
Diâmetro maior (cm)	9,39 <sup>a</sup>	8,17 <sup>b</sup> - 9,29 <sup>a</sup>
Diâmetro menor (cm)	9,14 <sup>a</sup>	7,60 <sup>g</sup> - 8,71 <sup>a</sup>
Peso (g)	397,5 <sup>f</sup> - 412,5 <sup>c</sup> - 545,73 <sup>a</sup>	426,3 <sup>f</sup> - 450 <sup>g</sup> - 606,74 <sup>a</sup>
Rendimento de polpa (%)	69,53 <sup>b</sup> - 76,7 <sup>c</sup> - 84 <sup>f</sup>	70,43 <sup>b</sup> - 81,8 <sup>f</sup>
pH	4,24 <sup>c</sup> - 4,29 <sup>b</sup> - 4,37 <sup>f</sup>	3,85 <sup>b</sup> - 4,83 <sup>d</sup>
Acidez (%)	0,20 <sup>f</sup> - 0,38 <sup>g</sup>	0,35 <sup>f</sup> - 0,47 <sup>b</sup>
Sólidos solúveis (°Brix)	13,9 <sup>c</sup> - 15,60 <sup>b</sup> - 16,6 <sup>f</sup>	14,7 <sup>b</sup> - 17,9 <sup>f</sup> - 17,2 <sup>g</sup>
Sólidos totais (g/100g)	16,24 <sup>b</sup> - 16,1 <sup>f</sup> - 21,0 <sup>c</sup>	16,92 <sup>g</sup> - 17,49 <sup>b</sup> - 20,37 <sup>f</sup>
Açúcares totais (g/100g)	11,89 <sup>e</sup> - 12,37 <sup>g</sup>	9,79 <sup>e</sup> - 11,05 <sup>d</sup> - 14,44 <sup>b</sup>
Açúcares redutores (frutose e glicose) (g/100g)	2,84 <sup>e</sup> - 3,82 <sup>f</sup> - 4,08 <sup>b</sup>	2,95 <sup>d</sup> - 3,32 <sup>b</sup> - 3,38 <sup>e</sup> - 4,08 <sup>f</sup>
Vitamina C (mg/100g)	31,7 <sup>f</sup> - 42,0 <sup>b</sup>	56,7 <sup>f</sup> - 71,0 <sup>b</sup>
Carotenóides (mg/100g)	3,4 <sup>f</sup>	4,0 <sup>f</sup>
Lipídeos (g/100g)	0,27 <sup>f</sup>	0,49 <sup>f</sup>
Proteína bruta (g/100g)	0,30 <sup>f</sup>	0,16 <sup>f</sup>
Pectina (g/100g)	0,95 <sup>f</sup> - 1,24 <sup>b</sup>	0,93 <sup>f</sup> - 1,34 <sup>b</sup>
Fibras insolúveis (g/100g)	0,82 <sup>b</sup> - 0,99 <sup>e</sup> - 1,97 <sup>f</sup>	0,81 <sup>e</sup> - 0,83 <sup>b</sup> - 1,71 <sup>f</sup>

**Fonte:** <sup>a</sup> MEDINA *et al.*, 1981; <sup>b</sup> BLEINROTH *et al.*, 1985; <sup>c</sup> SIQUEIRA *et al.*, 1988; <sup>d</sup> OLLÉ, LOZANO e BRILLOUET, 1996; <sup>e</sup> BERNARDES-SILVA, LAJOLO e CORDENUNSI, 2003; <sup>f</sup> CARVALHO *et al.*, 2004; <sup>g</sup> REY *et al.*, 2004; **DESIDRATAÇÃO**

## OSMÓTICA

A desidratação é uma das técnicas mais antigas utilizada na preservação de alimentos, com a função principal de promover sua estabilidade microbiológica, inibindo o crescimento microbiano através da redução da atividade de água, ao mesmo tempo que diminui o peso do alimento, garantindo economia e praticidade em seu armazenamento e transporte.

Porém, no caso dos métodos tradicionais como a secagem por ar forçado, o emprego de altas temperaturas pode levar à perda da qualidade organoléptica e nutricional do alimento.

A desidratação osmótica, que consiste na imersão de alimentos em uma solução concentrada, tem sido bastante utilizada como um pré tratamento em processos de conservação de frutas e hortaliças, devido ao aumento da qualidade organoléptica dos produtos finais (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; SHI, FITO e CHIRALT, 1995; TORREGIANI e BERTOLO, 2001), pois resulta em aumento da qualidade do produto final, uma vez que aumenta a razão açúcar:acidez, melhora textura e aumenta a estabilidade de pigmentos durante a secagem e a estocagem; também previne colapso celular durante processos como secagem, congelamento e liofilização, devido ao efeito protetor desenvolvido no tecido (RAOULT-WACK, 1994).

A ausência de oxigênio no meio de desidratação e o uso de temperaturas moderadas previnem reações de degradação oxidativa e térmicas. Além disso, por acontecer em meio líquido, com bons coeficientes de transferência de massa e calor, e a água ser removida sem mudança de fase, a pré desidratação osmótica leva à economia de energia do processo final de secagem (BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

Os estudos sobre o processo de desidratação osmótica, que engloba as várias operações de retirada de água e impregnação em soluto, de alimentos com alta umidade, começaram em 1966 com James D. Ponting, e difundiram-se por todo o mundo (RAOULT-WACK, 1994; BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

Em 1991, Raoult-Wack *et al.* (1991) propuseram o termo “Desidratação- Impregnação por Imersão”, enfatizando a entrada de solutos no produto concomitante à saída de água durante o processo.

A desidratação osmótica tendo sido amplamente estudada por diversos pesquisadores nos últimos anos, principalmente para frutas, como maçã (FARKAS e LAZAR, 1969; CONTRERAS e SMYRL, 1981; LERICI *et al.*, 1985; SAUREL *et al.*, 1994; LAZARIDES, KATSANIDIS e NICKOLAIDIS, 1995; ERLE e SCHUBERT, 2001; SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA, 2001), abacaxi (FALCONE e SUAZO, 1988; RAHMAN e LAMB, 1991; AZUARA *et al.*, 1992, SHI, FITO e CHIRALT, 1995; LARANJEIRA, 1997), mamão (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; ANTONIO, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2003), tomate (SHI *et al.*, 1997; TELIS, MURARI e YAMASHITA, 2004; CAMARGO, MORETTI e LEDO, 2004, BARONI, 2004), manga (WELTI *et al.*, 1995; NUNES, 1997; BRANDÃO *et al.*, 2003; GIRALDO *et al.*, 2003;) e vegetais, como batata (ISLAM e FLINK, 1982, LENART e FLINK, 1984; KROKIDA *et al.*, 2001; MOYANO e BERNA, 2002) e cenoura (QI, Le MAGUER e SHARMA, 1998). O processo também tem sido aplicado mais recentemente para produtos cárneos (BOHUON *et al.*, 1998; COLLINGNAN *et al.*, 2001; MEDINA VIVANCO, 2003).

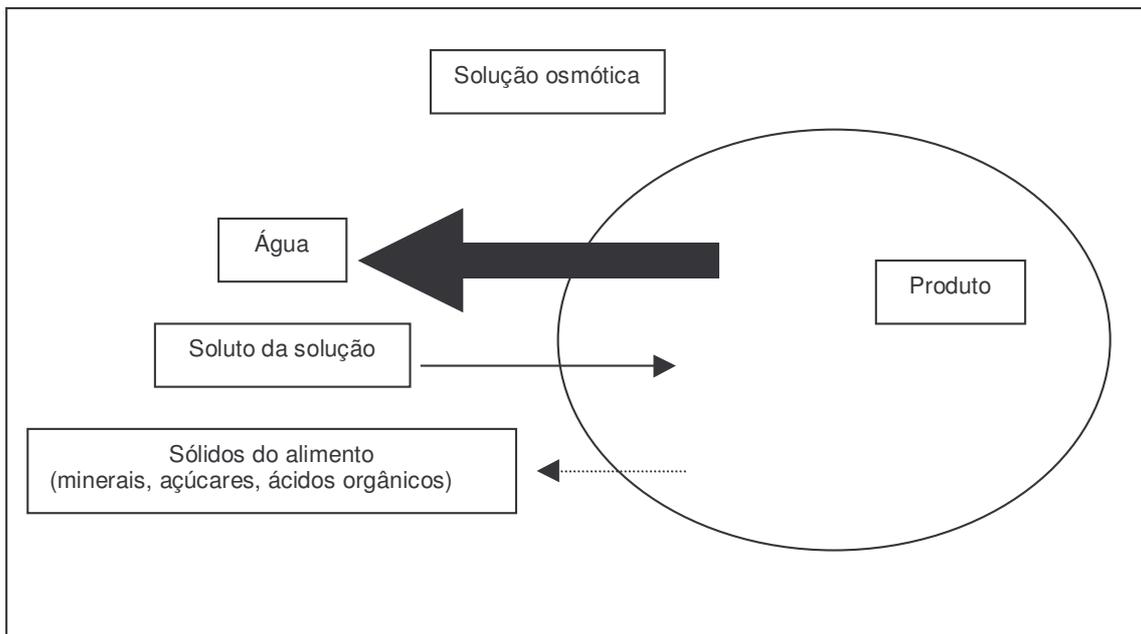
Na maior parte deste trabalhos são estudados os efeitos dos parâmetros de desidratação osmótica, como tempo de imersão, temperatura, concentração da solução osmótica (FARKAS e LAZAR, 1969; ERTEKIN e CAKALUZ, 1996; SAUREL *et al.*, 1994; GIRALDO *et al.*, 2003), e tipo de soluto utilizado (SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA, 2001; TELIS, MURARI e YAMASHITA, 2004) nos fenômenos de transferência de massa do processo, como perda de umidade e incorporação de solutos da solução. Outros trabalhos consistem na avaliação do aspecto de qualidade dos produtos finais, pela combinação da desidratação osmótica a um método complementar de conservação, como secagem com ar forçado (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; RAHMAN e LAMB, 1991; WELTI *et al.*, 1995), secagem solar (BRANDÃO *et al.*, 2003), congelamento (NUNES, 1997), liofilização (HAWKES e FLINK, 1978), secagem por

microondas sob vácuo (ERLE e SCHUBERT, 2001), fritura (REYNES, AYMARD e AW, 1997).

### **Fundamentos do processo**

Na desidratação osmótica, alimentos sólidos de alta umidade (frutas, vegetais, produtos cárneos), inteiros ou em pedaços, são imersos em uma solução concentrada (de sais, açúcares e/ou alcoóis, dependendo do tipo de alimento) com alta pressão osmótica, causando dois fluxos contrários e simultâneos: saída de água do alimento para a solução e uma simultânea, mas menor, transferência do soluto da solução para o alimento (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; TORREGIANI, 1993; SAUREL *et al.*, 1994). Ocorre ainda a saída de solutos do próprio alimento para a solução, como açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, que apesar de ser quantitativamente desprezível em comparação com os outros fluxos, é de grande importância para a composição do produto final (Figura 1) (LERICI *et al.*, 1985; TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994; SAUREL *et al.*, 1994). O processo se estabiliza quando o potencial químico entre a solução osmótica e a célula atinge o equilíbrio, ou seja, quando ambos apresentam a mesma concentração em soluto (DALLA ROSA e GIROUX, 2001).

A força motriz para a remoção de água é o gradiente de concentração entre a solução osmótica e o fluido intracelular, onde a parede celular dos vegetais atua como uma membrana semi permeável (SHI, FITO e CHIRALT, 1995; ERTEKIN e CAKALOZ, 1996). Em tecidos vegetais, as membranas celulares tendem a se estender e dilatar, dependendo da pressão gerada no interior das células, e permitem a passagem livre de solvente, e também de algumas moléculas de soluto, porém em menor grau, sendo assim consideradas membranas seletivas (TORREGIANI, 1993).



**Figura 1:** Esquema da transferência de massa durante desidratação e impregnação osmótica, adaptado de RAOULT-WACK (1994)

Ao contrário de técnicas tradicionais de saturação por solutos, como salga, cristalização e semi-cristalização, com maior incorporação de solutos e perda de água limitada, a desidratação osmótica promove grande remoção de água (na faixa de 40 a 70% do produto inicial) e limitado e controlado ganho de sólidos (5 a 25% do produto inicial), principalmente quando são usadas soluções de alta concentração (50 a 75g soluto/100g solução).

Quando o processo é conduzido em condições típicas, como temperatura na faixa de 30 a 50°C, pressão atmosférica e pedaços pequenos de produto, a maior transferência de massa ocorre durante as duas primeiras horas, e a partir daí a taxa de remoção de água começa a diminuir até parar, enquanto a impregnação por soluto continua aumentando de maneira constante, resultando num produto rico em sólidos (RAOULT-WACK, 1994). A incorporação de soluto pelo alimento pode ser desejável, a fim de mudar suas características nutricionais e funcionais, alcançando uma formulação específica sem

modificar sua integridade (TORREGIANI, 1993).

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, 1994).

A desidratação osmótica difere-se de métodos de secagem convencionais em dois pontos: o processo de saturação leva a uma dupla transformação pelo efeito da desidratação e impregnação, resultando porém em produtos não estáveis devido ao alto teor de umidade. Assim, a desidratação osmótica é geralmente empregada como pré tratamento a outros processos, como secagem, congelamento, pasteurização, fritura e/ou adição de agentes conservantes (RAOULT-WACK, 1994).

### **Fatores que afetam o processo de desidratação osmótica**

A quantidade e a taxa de remoção de água dependem de muitas variáveis e parâmetros do processo, tais como concentração e composição química da solução osmótica, tempo de imersão, temperatura, razão entre solução/produto, área de superfície e geometria do produto e a agitação da solução (PONTING, 1973; CONTRERAS e SMYRL, 1981; ISLAM e FLINK, 1982; TORREGIANI, FORNI e RIZZOLO, 1987).

### **Propriedades dos tecidos biológicos**

As características do alimento *in natura* exercem grande influência no processo, em relação à perda de água e ao ganho de soluto. A grande variação observada entre diferentes

frutas é associada a características como compactação do tecido, teor inicial de sólidos solúveis e insolúveis, espaços intercelulares, presença de gás, razão entre as diferentes frações pécticas (pectina hidrossolúvel e protopectina), atividade enzimática e porosidade (TORREGIANI, 1993).

De maneira geral, quando a integridade do tecido é afetada (com conseqüente diminuição da seletividade e aumento da permeabilidade da membrana celular) por pré tratamentos térmicos (como branqueamento), químicos ou enzimáticos, ou ainda pelo seu estado de maturação muito avançado, a entrada de soluto nas células é favorecida, em detrimento da perda de água (PONTING, 1973; ISLAM e FLINK, 1982; SAUREL *et al.*, 1994; BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

Entretanto, estudo realizado por Raoult-Wack *et al.* (1991) com um alimento modelo sem membrana seletiva, constituído de gel de ágar-ágar, mostrou não ser necessário a existência de uma membrana celular intacta para se conseguir os mesmos efeitos de perda de água e baixa incorporação de sólidos que ocorrem em uma membrana seletiva biológica. Estes resultados são de grande interesse, uma vez que o processo osmótico pode ser aplicado a materiais cujos tecidos foram danificados pelo amadurecimento, por pré tratamentos químicos ou físicos, ou congelamento, e ainda a alimentos de diferentes estruturas, como tecido animal, vegetal ou tipo gel.

### **Concentração e composição da solução osmótica**

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 (ISLAM e FLINK, 1982; LENART e FLINK, 1984).

Raoult-Wack *et al.* (1991), em estudo com material modelo (gel de ágar), tratado em várias concentrações de solução de sacarose, verificou que em diferenças de concentração menores que 40%, ocorre predominantemente o fenômeno de impregnação, com ganho de soluto maior que a perda de água; para diferenças de concentração acima de

40%, a desidratação é favorecida. Assim, uma grande faixa de aplicações pode ser conseguida através da escolha da concentração da solução, caracterizada por várias razões de perda de água e ganho de soluto.

A escolha do soluto depende de vários fatores, como seu efeito na qualidade organoléptica do produto, capacidade de redução da atividade de água, permeabilidade nas membranas celulares, efeito preservativo (QI, Le MAGUER e SHARMA, 1998), custo, ausência de toxicidade, e possuir solubilidade suficiente para obter soluções de altas concentrações (BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

A composição da solução osmótica é de grande importância no processo de desidratação osmótica. O tipo de soluto utilizado afeta fortemente a cinética de perda de água, ganho de sólidos e a umidade de equilíbrio. O aumento do peso 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 que impregnado. A maior penetração de solutos de baixo peso molecular (glicose, frutose, sorbitol) dentro das células favorece o fenômeno de impregnação sobre a desidrataação (CONTRERAS e SMYRL, 1981; HENG, GUILBERT e CUQ, 1990).

A sacarose tem sido considerada um dos melhores agentes osmóticos para frutas, devido a sua efetividade, conveniência e sabor desejável; é um efetivo inibidor da polifenoloxidase, evitando o escurecimento enzimático durante o processo e previne a perda de aromas voláteis durante a desidrataação. Possui permeabilidade na maioria das membranas celulares e sua difusividade é muito menor que a da água, garantindo um baixo ganho de sólidos pelo tecido (QI, Le MAGUER e SHARMA, 1998).

O uso de misturas de dois ou mais solutos, como sacarose com outros açúcares de diferentes pesos 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 desidrataação osmótica, definida pelos fenômenos de impregnação e desidrataação.

A utilização de açúcares de grande massa molecular (hidrolisados de amido com baixo índice de dextrose equivalente) juntamente com sacarose (solução ternária) resulta em altos níveis de desidratação e baixos de impregnação, em comparação à solução binária de sacarose (CONTRERAS e SMYRL, 1981); já o uso de açúcar invertido (mistura de glicose e frutose), devido ao menor peso molecular, favorecem a impregnação de sólidos pelo produto (BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

Para produtos cárneos, o agente osmótico utilizado é o NaCl, principalmente pela compatibilidade de sabor, mas também tem sido aplicado, juntamente com a sacarose, para desidratação de vegetais como tomate (TELIS, MURARI e YAMASHITA, 2004; BARONI, 2004), e maçã (SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA, 2001). A adição de NaCl a soluções osmóticas de açúcar apresenta um efeito sinérgico, aumentando a taxa de transferência de massa devido à sua capacidade de abaixamento da atividade de água (LENART e FLINK, 1984; LERICI *et al.*, 1985), enquanto que sua impregnação pelo produto é limitada, devido à presença de uma barreira sólida de açúcar formada na superfície, controlando o sabor salgado (BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

O uso de polióis, como sorbitol, também tem sido estudado como agente desidratante, devido à sua ação umectante, resultando em produtos com maior teor de água mas de mesma atividade de água, comparado a outros açúcares. De acordo com trabalho desenvolvido por Erba e outros (1994), a adição de sorbitol como agente osmótico em solução de frutose (razão 2:1 de frutose e sorbitol), levou a um menor ganho de soluto e uma maior perda de água no processo de desidratação osmótica de damasco e pêsego (concentração de 70°Brix, 45°C, 30 minutos), como pré tratamento à secagem por ar forçado seguida por congelamento, quando comparado à não adição deste polioliol à solução de frutose. A propriedade umectante do sorbitol proporcionou ainda maior maciez nos produtos finais.

### **Temperatura**

Vários estudos têm mostrado que a taxa de perda de água aumenta com o aumento

da temperatura (LENART e FLINK, 1984; HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; RAHMAN e LAMB, 1990). 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 e 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 já sofre alterações, perdendo sua seletividade e favorecendo a impregnação por solutos (TORREGIANI, 1993). Entretanto, a melhor temperatura de processo depende do material a ser desidratado; de maneira geral, os processos de desidratação osmótica são conduzidos numa faixa entre 20 e 40°C.

### **Tempo de processo**

Geralmente não é interessante promover desidratação osmótica além de 50% de redução de peso do material, uma vez que há um decréscimo da taxa de transferência de massa com o decorrer do tempo. Segundo alguns autores, a principal perda de água ocorre durante as primeiras duas horas de processo e o máximo ganho de sólidos até 30 minutos (GIANGIACOMO *et al.*, 1987; TORREGIANI, 1993). Já Kowalska e Lenart (2001), verificaram mudanças mais significativas de teor de água, perda de água e ganho de solutos nos 30 primeiros minutos de desidratação osmótica de maçã, abóbora e cenoura, em solução de sacarose a 61,5% e 30°C.

### **Aplicação de vácuo**

O uso de pressões reduzidas estacionárias possibilita o aumento da taxa de remoção de água, em relação à pressão atmosférica, tornando o processo mais rápido, com pouca ou nenhuma modificação na transferência de soluto (SHI e MAUPOEY, 1993; SHI, FITO e CHIRALT, 1995; BOHUON e RAOULT-WACK, 2002). O uso de temperaturas mais baixas devido à redução da pressão diminui as alterações de cor e sabor durante o processo, resultando em produtos de maior qualidade organoléptica.

Já a aplicação de pulsos de vácuo, que consiste na aplicação de uma pressão

reduzida por um curto período, seguida pela desidratação osmótica sob pressão atmosférica, promove a penetração de soluto nos poros por mecanismos hidrodinâmicos, através do aumento da área de transferência de massa do alimento e intensificando as trocas sólido-líquido (VIVANCO, HUBINGER e SOBRAL, 2004).

Mújica-Paz e outros (2001), estudando a aplicação de vácuo em desidratação osmótica de fatias de manga através da Metodologia de Superfície de Resposta, verificaram que o aumento do vácuo bem como do tempo de aplicação resultaram em aumento da perda de água do produto.

### **Agitação do sistema**

A imersão com agitação na desidratação osmótica garante a renovação da solução concentrada ao redor do produto, uma vez que nessa região é formada uma camada diluída ao longo do processo. Assim, a diferença osmótica entre produto/solução é mantida, favorecendo o transporte de água que por sua vez limita a entrada de solutos (BOHUON *et al.*, 1998; BOHUON e RAOULT-WACK, 2002).

## **FRITURA**

A fritura é um dos métodos de cozimento mais antigos que existem, tendo sua origem nos países mediterrâneos, devido à presença do azeite oliva (VARELA *et al.*, 1988). Atualmente, é desenvolvida em vários países da Europa, Ásia, América do Norte, do Sul e Central. Os Estados Unidos representam o país de maior produção e consumo de produtos fritos mundiais. Até hoje é um dos métodos de preparação de alimentos pouco compreendidos, sendo considerada “mais arte que ciência” (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

A fritura é um processo de secagem e cozimento bastante difundido em todas as escalas de produção (fritura doméstica, artesanal ou industrial), importante para vários setores da indústria de alimentos como: suprimento de óleos/gorduras e ingredientes, serviços de alimentação (hotéis, restaurantes, cozinhas industriais) e manufatura de

equipamentos (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

É aplicada para diversos alimentos de origem animal ou vegetal (BLUMENTHAL e STIER, 1991), para fabricação de produtos do tipo pré fritos congelados (batata palito, pedaços de frango e peixe), produtos de panificação como rosquinhas e sonhos, e produtos tipo *chips* (RAOULT-WACK e BRICAS, 1998).

A fritura também é utilizada para a extração de óleo de coco (Indonésia) e de abacate, na secagem da amêndoa e posterior prensagem, torração de café e cacau (RAOULT-WACK *et al.*, 1997; RAOULT-WACK e BRICAS, 1998; VITRAC, TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000). Estudos estão sendo realizados para secagem de madeira (CIRAD – França) (RAOULT-WACK e BRICAS, 1998) e secagem de lodo em estação de tratamento de resíduos (SILVA, 2003).

Enquanto a secagem convencional por ar demanda de horas a dias para alcançar um baixo teor de água residual, através da fritura consegue-se o mesmo resultado em segundos ou minutos. Além disso, ela pode ser empregada em casos onde a secagem por ar é difícil e lenta, em função da composição físico-química e/ou da estrutura, como no caso de produtos com alto teor de lipídeos, produtos ao final da secagem convencional, materiais compactos e fibrosos como a madeira (RAOULT-WACK e BRICAS, 1998).

### **Tipos de fritura**

O processo de fritura pode ser classificado quanto às dimensões do equipamento utilizado: fritura profunda ou por imersão (*deep fat frying*) e superficial, através do fator R proposto por Guillaumin em 1973, definido como a relação da superfície 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.

Quanto ao tipo de reação que ocorre no processo de fritura, na superficial predominam as reações oxidativas e termoxidativas, uma vez que as reações de oxidação se dão essencialmente na interface óleo e ar, enquanto que as reações térmicas predominam na

fritura por imersão. Além disso, os dois tipos de fritura também se diferenciam quanto ao aproveitamento do óleo empregado, já que na fritura por imersão o óleo pode ser reutilizado uma dezena de vezes, o que não ocorre na fritura superficial, pois é muitas vezes completamente incorporado pelo produto (GRAILLE, 1997).

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).

Os aspectos gerais do processo serão discutidos para a fritura por imersão.

### **Fundamentos do processo**

O processo de fritura pode ser definido como um processo de desidratação ultra rápido, onde a remoção de água de um material sólido, no caso o alimento, acontece através da vaporização térmica, e portanto a temperatura de trabalho é sempre maior que a temperatura do líquido a ser removido. O óleo atua como o meio de transferência de energia, da fonte para o produto. Seu alto poder calorífico e o íntimo contato deste com o alimento durante o processo, levam à remoção de água do produto de maneira bastante rápida e eficiente.

No processo de fritura, o material úmido (alimento) é imerso no óleo a temperaturas na faixa de 120 a 180°C à pressão atmosférica. De acordo com a escala de produção o material é mantido submerso (equipamentos industriais), na superfície do óleo (escala doméstica) ou transportado através de zonas de diferentes temperaturas (fritadeiras contínuas industriais) (VITRAC, TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000).

Óleos e gorduras são líquidos com alto ponto de ebulição, bastante acima do ponto de ebulição da água. O óleo portanto se mantém líquido durante o processo de fritura enquanto água do alimento é vaporizada e removida do banho na forma de bolhas de vapor em turbulência. O calor é transferido por convecção do óleo quente para a superfície do alimento frio (ou até o momento à temperatura ambiente, entre 23-24°C) (VITRAC,

TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000).

Em comparação à outros fluidos usados para secagem, como ar e vapor superaquecido, a principal vantagem do óleo é ser um meio denso (entre 0,8 e 0,9 x 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>) com uma alta capacidade calorífica (cerca de 2kJ/kg K), e assim sendo armazena grande quantidade de energia (calor) em um pequeno volume. Tipicamente, a cada decréscimo de 10°C na temperatura de 1 litro de óleo resulta na vaporização de 7 litros de água (VITRAC, TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000).

A água do alimento desempenha um importante papel 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 à vapor quando ela 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 através do contato da superfície do produto com o óleo e uma difusão do calor para o interior do produto (FELOWS, 1988, *apud* ATHANASE, 1998).

A velocidade de transferência de calor e conseqüentemente de massa (desidratação) é dependente da diferença entre a temperatura do óleo e a temperatura de ebulição da água dentro do produto (DIAZ *et al.*, 1996).

### **Fatores que afetam o processo de fritura**

A fritura é uma operação complexa que envolve vários fatores dependentes do processo, do óleo de fritura e do alimento.

### **Relacionados ao processo**

Os fatores do processo incluem temperatura do óleo, tempo de residência do produto na fritadeira, o tipo de equipamento utilizado (por batelada ou contínuo), pressão

do sistema.

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). O aumento da temperatura acelera a taxa de remoção de água (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999), porém a incorporação de óleo está mais relacionada a mudanças na microestrutura durante a fritura, como enrugamento da superfície, porosidade, distribuição de poros.

Segundo Vitrac e outros (2002), a quantidade de óleo, relacionada ao teor de umidade residual de fatias de mandioca de 1,5mm, não sofreu influência da temperatura de fritura (140 e 160°C); mesmo comportamento foi observado por Gamble, Rice e Selman (1987), para fatias de batata submetidas às temperaturas de fritura de 145, 165 e 185°C.

A aplicação de vácuo, ou emprego de pressões reduzidas de trabalho durante o processo de fritura abaixa os pontos de ebulição do óleo de fritura e da água no produto, o que permite operar em temperaturas de óleo mais baixas que em condições de pressão atmosférica. As principais vantagens do processo a vácuo são: redução do teor de óleo no produto (GARAYO e MOREIRA, 2002, QUERIDO, 2005), preservação da cor e aroma naturais do material devido á baixa temperatura e concentração de oxigênio durante o processo, e prolongamento de sua vida útil do óleo (GARAYO e MOREIRA, 2002). Já na fritura à pressão atmosférica a temperatura é limitada entre 160 e 180°C, há contaminação do óleo de fritura com açúcares e ácidos orgânicos que se degradam com altas temperaturas e rápida degradação do óleo (VAILLANT, 1999).

### **Relacionados ao óleo de fritura**

Os fatores relacionados ao óleo são sua composição química (em ácidos graxos insaturados, poliinsaturados ou saturados) e físico-químicas; presença de contaminantes e aditivos podendo causar efeito na palatabilidade, digestibilidade e utilização metabólica do alimento frito.

A escolha do tipo de óleo é de extrema importância, devendo-se levar em conta: alta

resistência à oxidação e à formação de gomas, baixa taxa de formação de espuma, pouco escurecimento, baixo ponto de fusão, ausência de odor, e custo acessível. Muitos óleos podem ser utilizados, sendo os mais comuns os óleos vegetais, como por exemplo, óleo de soja, milho, algodão, palma e também a mistura de um ou mais tipos de óleo, formando os *blends*.

O óleo de palma, obtido da polpa dos frutos da palma oleaginosa (*Elaeis guineensis Jacq*), tem sido utilizado em processos industriais de fritura por apresentar uma ótima estabilidade, devido à predominância de ácidos graxos saturados, ácido palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0), com cerca de 44% e 5% na sua composição, respectivamente, e de ácido graxo monoinsaturado, o ácido oléico (C18:1), na faixa de 40%. Ácidos graxos poliinsaturados, mais sensíveis à oxidação, estão presentes em concentrações mínimas como o ácido linolênico (C18:3), representando menos de 0,5% da composição e linoleico (C18:2), em moderada porcentagem, cerca de 10%. O ácido palmítico, apesar de saturado, é menos hipercolesterolêmico que ácidos graxos saturados com 12 ou 14 carbonos na cadeia. Por apresentar proporções iguais de ácidos graxos saturados e insaturados, o óleo de palma pode ser considerado uma gordura balanceada (AGROPALMA, 2005).

Em estudo reportado por Raoux (1998) *chips* de batata fritos em óleo de palma, submetidos à análise sensorial de uma equipe de provadores selecionados e treinados do ITERG (Institut des corps gras, Pessac, França), tiveram predominância do atributo “aroma frutado” sobre “aroma de ranço” até 6,5 meses de estocagem. Para *chips* fritos em óleos de girassol e oleína de girassol o tempo foi reduzido para 4 e 5,5 meses, respectivamente, mostrando uma maior estabilidade à oxidação do óleo de palma.

### **Relacionados ao alimento**

Quanto ao alimento, sua composição química, tipo do tecido (vegetal ou animal) (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999), ponto de maturação (DIAZ *et al.*, 1999) e variedade no caso de vegetais (LEMAIRE *et al.*, 1997; SKREDE *et al.*, 1997;

AMMAWATH *et al.*, 2001; VITRAC *et al.*, 2000), pré tratamentos empregados (LENG *et al.*, 1997; KROKIDA *et al.*, 2001; MOYANO e BERNA, 2002). As razões alimento/óleo e área superficial/volume são importantes pois determinam quanto de óleo penetra no alimento (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

O tipo da matéria-prima é muito importante e a umidade inicial deste material é um fator crítico para a qualidade final; ela determina para uma mesma umidade no produto final, teores de incorporação de óleo e tempo de processos diferentes (VITRAC, DUFOUR e RAOULT-WACK, 1997).

### **Transferência de calor e massa (perda de vapor) durante o processo de fritura por imersão**

De acordo com Vitrac, Trystam e Raoult-Wack (2000), o comportamento da perda de água (sob a forma de vapor) ao longo da fritura pode ser descrito em três fases, de acordo com a temperatura no centro do produto:

- 1) aquecimento inicial ao ponto de ebulição da água livre, juntamente com vaporização da umidade superficial;
- 2) uma faixa constante de temperatura próxima ao ponto de ebulição, durante a qual a maior parte da água livre é vaporizada, e
- 3) um aumento da temperatura do material até a temperatura do óleo, com baixas taxas de secagem. É nesta última etapa onde se intensificam as reações de escurecimento não enzimático (reação de Maillard, caramelização de açúcares, oxidação de vitamina C). Quando finalmente o produto atinge a temperatura do óleo, não existe mais força motriz para vaporização e apenas reações ativadas por altas temperaturas continuam a ocorrer. Este último estágio não é alcançado durante fritura de alimentos.

O primeiro estágio, caracterizado pela vaporização superficial, determinado pelas pequenas dimensões de produto geralmente utilizadas no processo de fritura, é geralmente curto. Depois da imersão no óleo, a superfície do produto alcança o ponto de ebulição da

água livre presente quase que instantaneamente e inicia-se a vaporização; a transferência de calor da superfície para o centro acontece por condução. Durante este estágio o gradiente de temperatura dentro do material (superfície - centro) diminui rapidamente enquanto que a diferença entre a temperatura do óleo e do produto é máxima; a taxa de secagem é portanto controlada apenas pelas condições externas, como temperatura de trabalho.

O segundo estágio é caracterizado pela vaporização principalmente da água livre ou capilar. Durante a fritura, ao contrário de outros processos de secagem, não existe o período de taxa constante. A superfície do material se desidrata rapidamente atingindo o estado higroscópico e a pressão de vapor saturado da água residual adsorvida aumenta. Assim é necessário um aumento da temperatura para desorver e vaporizar a água residual. Como resultado a taxa de vaporização local decresce. O excesso de energia é usado para aquecer a superfície, e o fluxo externo de calor, que é proporcional ao gradiente de temperatura entre o óleo e a superfície, é reduzido. Um mecanismo de transferência com duas regiões distintas se desenvolve dentro do material: uma região interna onde a água livre se mantém a uma temperatura próxima do ponto de ebulição (centro) e uma região superficial a uma temperatura mais elevada onde tanto água adsorvida como vapor existem (crosta).

No terceiro estágio a fritura acontece estritamente no estado higroscópico do produto, e é referente a produtos com um teor de água residual ou atividade de água bem baixos, tipicamente abaixo de 0,3, como produtos tipo *chips*. Durante este estágio, o material sendo frito consiste em um contínuo meio poroso, com espaços preenchidos por vapor com baixa condutividade térmica, uma vez que não há mais água líquida. Todo o material está a uma temperatura acima do ponto de ebulição, com o gradiente de temperatura controlado pelo equilíbrio de desorção entre a água adsorvida e a água livre. Assim que água é desorvida, é vaporizada. A pequena quantidade de água vaporizada e a baixa capacidade da água adsorvida migrar até a superfície não são suficientes para evitar o aquecimento do material até a temperatura do óleo, diminuindo assim a força motriz de transferência de calor do óleo para o material. O controle desta etapa é bastante importante uma vez que um tempo de residência excessivo pode levar a um aumento da temperatura do

produto à temperatura do óleo, e um tempo curto pode não resultar na atividade de água final desejada.

### **Incorporação de óleo**

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

O mecanismo que envolve a adesão e absorção de óleo durante a fritura por imersão é complexo, governado por mais de um mecanismo e ainda não completamente elucidado. O conhecimento das propriedades físicas do óleo e do alimento, e mudanças na microestrutura do produto, são fundamentais para se entender o mecanismo de absorção de óleo (SAGUY, 1997; SAGUY, UFHEIL e LIVINGS, 1998).

A perda de água e a incorporação de óleo tem uma relação entre si, entretanto o último fenômeno é consequência de mudanças na microestrutura dos *chips* durante o processo de fritura, como porosidade, distribuição dos poros, capilaridade, características da crosta (MOREIRA, SUN e CHEN, 1997).

Segundo Moreira, Castell-Perez e Barrufet (1999), o mecanismo de absorção de óleo em *tortilla chips* pode ser associado a três estágios distintos antes, durante e após o processo de fritura:

1. Pré fritura: este estágio é caracterizado 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 porosidade e densidade de cada componente (sólido, água e ar);

2. Fritura: neste estágio ocorrem as mudanças no produto. 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.

3. Pós fritura ou resfriamento: este estágio se inicia quando o produto é removido da fritadeira ao final da fritura. A temperatura dentro dos *chips* diminui até alcançar 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 óleo e gás aumenta, resultando num 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.

De acordo com diversos estudos, a diminuição da incorporação de óleo pode ser conseguida através de pré tratamentos para diminuição do teor de água inicial, como secagem por microondas, ar quente (GAMBLE e RICE, 1987; MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999) e através de desidratação osmótica (MOYANO e BERNA, 2002); utilização de coberturas de hidrocolóides, como metilcelulose, adicionados à coberturas de empanados (BOUCHON e PYLE, 2004), ou como pectinas e alginatos, aplicados diretamente sobre a superfície de *chips* (QUERIDO, 2005); e pós tratamentos como secagem com ar quente e secagem com vapor superaquecido (BOUCHON e PYLE, 2004).

Vitrac e outros (2002), verificaram que a quantidade de óleo, relacionada ao teor de umidade residual de fatias de mandioca de 1,5 mm, não foi afetada pela temperatura de fritura (140 e 160°C) e pela agitação do sistema. Já o uso de óleo de algodão levou à uma menor absorção em relação ao óleo de palma, uma vez que o primeiro é líquido à temperatura ambiente e pode ser mais facilmente drenado na fase de resfriamento, confirmando o importante fenômeno de adesão na superfície rugosa dos *chips* na incorporação de óleo.

### **Tipos de produtos fritos**

Os produtos fritos podem ser classificados em três tipos: modelo “frito”, modelo “*chips*” e modelo “piloto” (BLUMENTHAL e STIER, 1991; VITRAC, 2000).

Modelo “frito”: é caracterizado por um volume interno importante onde o teor de água é pouco afetado pela fritura. A desidratação e a impregnação com óleo são apenas superficiais. Este tipo de fritura é normalmente realizada em duas etapas, como por exemplo primeiramente em um banho a 160°C a 3 minutos para se realizar o cozimento, seguida de uma fritura a 180°C, em poucos segundos, para formação da crosta. Na escala industrial, os produtos são congelados após a primeira fritura e a segunda é realizada em casa, antes do consumo. Como exemplos tem-se produtos fritos como batata palito, empanados de produtos cárneos, e produtos de panificação, como sonhos.

Modelo “chips”: é caracterizado por um teor mínimo de umidade residual e uma crosta contínua, o que garante uma atividade de água inferior a 0,4, permitindo sua conservação e preservação das qualidades organolépticas durante alguns meses à temperatura ambiente. Após o resfriamento, apenas a matriz vitrificada e porosa do material inicial é conservada. Os poros deixados pela saída de água são ocupados em proporção variável pelo óleo de fritura. A impregnação com óleo em relação ao volume de água eliminado é geralmente maior no caso do modelo “chips” que no caso do modelo “frito”, devido à maior superfície específica e às menores espessuras. Como exemplos tem-se *chips* de batata (Refer), de batata reestruturada (BOUCHON e PYLE, 2004), de plátano (refer), de massas cozidas de milho (tortilla), e doces de maçã (shyu e hwang, querido, 2005), abacaxi (reynes, athanase)

Modelo “piloto”: é caracterizado por um pequeno teor de água residual e uma estrutura de alvéolo que se expande ao longo da fritura e que se mantém na etapa de resfriamento. Os produtos mais conhecidos são “keropocs” ou “krupucs” indonésios elaborados com massa à base de farinha de mandioca.

### **Mudanças no óleo e no alimento**

Uma série de fenômenos de natureza física e química ocorrem dentro do alimento durante a fritura: transporte de massa e calor, como aquecimento, perda de água, perda de soluto, migração de óleo; deformações mecânicas, tais como expansão, encolhimento, desenvolvimento de porosidade, enrugamento da superfície; reações como de Maillard e

degradação de proteínas; transformações físico-químicas como gelatinização, retrogradação, transição vítrea de carboidratos e proteínas, etc. (VITRAC, TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000).

Além destes, a fritura promove a esterilização da superfície do produto com a destruição térmica de microrganismos e inativação de enzimas responsáveis pela degradação do mesmo (REYNES, AYMARD e AW, 1997).

Ocorrem ainda aumento da palatabilidade do alimento, do valor calórico, uma vez que uma parte de lipídeos é incorporada ao mesmo e, dependendo do teor de água residual, como no caso dos *chips*, o produto se torna estável pelo baixo valor da atividade de água.

Por outro lado, durante o processo de fritura, o óleo é exposto a altas temperaturas na presença de ar e umidade, propiciando inúmeras modificações em sua estrutura devido a reações hidrolíticas, oxidativas e térmicas, causando a diminuição de qualidade do óleo e do produto submetido à fritura.

Segundo alguns autores, a hidrólise é a principal reação química que ocorre durante o processo de fritura, envolvendo a quebra de ligações éster no glicerídeo, liberando ácidos graxos, monoglicerídeos, diglicerídeos e glicerol. Tal reação ocorre devido à presença de água vaporizada do alimento, que pode arrastar ácidos e bases que irão catalisar a reação (McGILL, 1980; BOBBIO E BOBBIO, 2001; MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999). Por serem voláteis, os produtos da hidrólise são bastante perceptíveis pelo odor em óleos já alterados; além do efeito organoléptico, ocorre o abaixamento do ponto de fumaça do lipídeo refletindo sobre a inflamabilidade do mesmo.

A hidrólise pode ser inibida pela eliminação de água no lipídeo, pelo uso de temperaturas baixas de processo e evitando o uso prolongado do óleo de fritura, principalmente quando os alimentos que estão sendo processados tiverem alto teor de umidade (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

A autooxidação, ou rancificação oxidativa, ocorre em lipídeos que contém ácidos graxos insaturados, através da reação com oxigênio atmosférico ou dissolvido no óleo, que

ataca as duplas ligações, resultando em uma série de reações envolvendo oxidação, degradação e polimerização por mecanismo de radicais livres. As reações de quebra resultam em compostos como aldeídos, ácidos, álcoois e hidrocarbonetos; de desidratação em cetonas; e de formação de radicais livres, em monômeros oxidados, dímeros e polímeros oxidativos, trímeros, epóxidos, polímeros, etc. (MELTON *et al.*, 1994; MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999), responsáveis pelas características sensoriais e físico-químicas associadas a esta degradação lipídica (BOBBIO e BOBBIO, 2001). Esta reação em cadeia de radicais livres acontece em três etapas ou fases distintas em seus produtos formados e conseqüentes características organolépticas desenvolvidas.

Na primeira fase, ou fase de indução, são formados os primeiros radicais livres, o consumo de oxigênio é baixo, aumentando lentamente; a concentração de peróxidos é baixa e a de radicais livres aumenta; não ocorrem alterações organolépticas, como desenvolvimento de cheiro ou sabor de ranço.

A segunda fase ou de propagação é caracterizada pelo alto consumo de oxigênio, rápido aumento da concentração de peróxidos, com início de sua decomposição surgindo assim o aparecimento de odor característico dos compostos formados.

Na fase final ou terminação o consumo de oxigênio tende a diminuir, assim como a concentração dos peróxidos, com forte alteração organoléptica, escurecimento e aumento da viscosidade do óleo. A rancificação oxidativa pode ainda provocar alterações em componentes do alimento pela ação oxidante dos peróxidos sobre as vitaminas, carotenóides, proteínas, alterando seu valor nutricional. Íons metálicos como ferro, cobre, cobalto podem atuar como catalisadores da decomposição de hidroperóxidos, assim como ácidos livres presentes no lipídeo (BOBBIO e BOBBIO, 2001). Assim, a hidrólise química que ocorre durante a fritura cria condições favoráveis ao desenvolvimento da rancidez oxidativa.

Segundo Dobarganes (1998), as altas temperaturas utilizadas durante o processo de fritura aceleram todas as reações da autooxidação; a decomposição dos hidroperóxidos é

mais rápida que sua formação, há um aumento dos radicais triglicéridicos e uma alta concentração de dímeros não oxigenados, devido à baixa solubilidade do oxigênio.

A interação dos produtos das reações de hidrólise e oxidação, na presença de altas temperaturas normalmente utilizadas no processo de fritura, levam a outra via de degradação lipídica, chamada polimerização, produzindo dímeros, polímeros, monômeros cíclicos e outros compostos de degradação. Do ponto de vista nutricional, os monômeros cíclicos formados são bastante indesejáveis, pois podem ser absorvidos juntamente com os ácidos graxos pelo organismo e assimilados pelos sistemas digestivo e linfático (ROJO e PERKINS, 1987, *apud* LIMA, 1994).

Os compostos formados pelas três vias de degradação dos lipídeos podem ser classificados em voláteis (hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos) e não voláteis, de maior peso molecular. Enquanto que os voláteis são eliminados durante o processo de fritura por volatilização, arrastados pelo vapor liberado dos alimentos, os de maior peso molecular se acumulam no óleo e no produto final, sendo de interesse nutricional pois serão componentes da dieta (DOBARGANES e PÉREZ-CAMINO, 1991; MELTON *et al.*, 1994). Um esquema representativo das reações que ocorrem com o óleo e seus produtos está ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Reações hidrolíticas, oxidativas e térmicas durante o processo de fritura (MOREIRA, CASTELL-PEREZ E BARRUFET, 1999).

A presença dos compostos formados pelas vias de degradação lipídica resulta em alterações físicas do óleo facilmente perceptíveis: tendência à formação de espuma, relacionada à presença de polímeros e surfactantes; aumento da viscosidade e densidade, devido ao produtos de polimerização; mudanças sensoriais, como desenvolvimento de odores e sabores, pela presença de compostos voláteis; escurecimento, pela presença de compostos carbonílicos e compostos não polares do alimento solubilizados no óleo (DOBARGANES e PÉREZ-CAMINO, 1991).

Em óleos degradados há uma grande quantidade de compostos surfactantes, que reduzem a tensão superficial, e conseqüentemente aumentam o contato entre alimento e óleo, propiciando a sua incorporação (SAGUY, UFHEIL e LIVINGS, 1998). Além disso, o aumento da quantidade de surfactantes no sistema leva ao aumento da formação de espuma e assim a uma maior exposição do óleo ao ar, acelerando ainda mais as reações de oxidação (BLUMENTHAL e STIER, 1991). A teoria dos surfactantes proposta por Blumenthal (1991), consiste em 7 suposições:

1. A fritura é basicamente um processo de desidratação; quando o alimento é frito, água juntamente com substâncias suspensas e/ou dissolvidas são aquecidas e “bombeadas” do alimento para o óleo de fritura.
2. O meio de transferência de calor, o óleo, é uma material não aquoso, enquanto que o alimento é majoritariamente composto por água; água e óleo são imiscíveis.
3. Para que a fritura aconteça, é preciso que calor seja transferido do meio não aquoso – óleo – para o meio basicamente aquoso – alimento.
4. Qualquer mudança no processo ou nas características de transferência de calor do óleo são provavelmente resultado da presença de produtos de degradação formados.
5. A extração de substâncias presentes no alimento para o óleo, quebra térmica ou hidrolítica do óleo e absorção de oxigênio na interface óleo-ar contribuem para a

alteração deste, resultando em uma série de compostos de degradação.

6. Substâncias que afetam a transferência de calor na interface óleo-alimento reduzem a tensão superficial entre dois materiais imiscíveis (água e óleo). Estas substâncias atuam como agentes umectantes e são consideradas surfactantes.
7. Quanto mais o óleo se degrada, mais surfactantes são formados, causando aumento do contato entre o alimento e o óleo, causando excessiva incorporação de óleo pelo alimento e um aumento da taxa de transferência de calor para a superfície do produto. Eventualmente, excessivos escurecimento e desidratação da superfície podem ocorrer antes do alimento ser cozido, uma vez que a condução de calor no interior do alimento é constante e não pode ser acelerada devido às mudanças ocorridas no meio de fritura (óleo).

Surfactantes são simplesmente qualquer material solúvel tanto em água como em óleo, ou seja, possui componentes hidrofílicos e lipofílicos. Exemplos de surfactantes usualmente encontrados em óleos degradados de fritura são sabão (oleato de sódio, oleato de magnésio), fosfolipídeos (lecitina), sais inorgânicos, mono e diglicerídeos e polímeros polares de oxidação. Entretanto, os surfactantes presentes em óleos usados são em maioria sabões alcalinos (sais metálicos de ácidos graxos), formados das interações entre ácidos graxos livres e íons metálicos na presença de pequena quantidade de água (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

A qualidade do óleo de fritura é ainda afetada pela interação alimento e óleo, devido à presença de compostos do produto solubilizados no meio, sendo os principais: compostos como fosfolipídeos e emulsificantes que contribuem para formação de espuma; vitaminas lipossolúveis e traços de metais, que dependendo do efeito pró ou antioxidante, aceleram ou inibem a oxidação do óleo; pigmentos e compostos da reação de Maillard (melanoidinas) que modificam a susceptibilidade à oxidação e contribuem para o escurecimento do óleo; compostos fenólicos, que aumentam a estabilidade do óleo; e compostos voláteis de alimentos fortemente aromáticos como peixe e cebola, que

contribuem em especial para formação de *off-flavours* (DOBARGANES, MÁRQUEZ-RUIZ e VELASCO).

### **Aspectos nutricionais**

Existem muitas pesquisas com o intuito de se verificar a relação entre ingestão de alimentos fritos e riscos à saúde. Estudos realizados mostraram que doses muito altas de compostos presentes em óleos altamente degradados termicamente e oxidados podem ser tóxicos em animais (CRAMPTON *et al.*, 1953, *apud* MEHTA e SWINBURN, 2001; BILLEK, 1985, *apud* LIMA, 1994; FIRESTONE *et al.*, 1991, *apud* MEHTA e SWINBURN, 2001). Produtos tóxicos da peroxidação lipídica podem causar mudanças patológicas no fígado de ratos (SIU e DRAPER, 1978; KANDAZAWA *et al.*, 1985 *apud* MEHTA e SWINBURN, 2001).

Porém, muitos estudos são realizados em condições extremas, com aquecimento abusivo do óleo na ausência de alimento ou administração a animais de certos compostos de degradação em altas concentrações, não reproduzindo as condições reais de um processo de fritura. Existe um consenso entre os pesquisadores de que, apesar da formação de compostos tóxicos em óleos altamente degradados, a ingestão moderada de alimentos fritos em óleos de alta qualidade e sob boas práticas de processo não acarreta riscos significativos à saúde humana (NAWAR, 1998).

### **Combinação dos processos de desidratação osmótica e 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 do material e portanto do 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.

Reynes, Aymard e Aw (1997) estudaram a produção de *chips* de abacaxi através do processo combinado de desidratação osmótica e fritura. Os parâmetros da etapa de

desidratação osmótica estudados foram a temperatura e tempo de processo, concentração da solução osmótica e a razão entre massa da fruta/massa do xarope. As respostas de interesse nesta etapa foram ganho de sólidos, perda de água e perda de peso. Na etapa de fritura, o processo foi acompanhado de acordo com as seguintes variáveis: temperatura de fritura, tempo de fritura e razão massa de fruta/massa de óleo; as respostas foram as seguintes: teor de óleo no produto final, porcentagem de matéria seca no produto final, textura e cor. Os resultados obtidos na otimização da etapa de desidratação osmótica mostraram que o ganho de soluto aumentou regularmente com a duração do tempo de imersão e que a perda de peso e a perda de água atingiram seu pico no tempo de 3 horas a uma concentração de xarope entre 50 e 60°Brix. As melhores condições encontradas no processo de fritura foram temperatura de 150°C por 150 segundos. O produto final obtido apresentou ótimas características como textura crocante, baixo teor de óleo, baixa atividade de água e bom rendimento em matéria seca.

Athanase (1998), estudou o processo combinado de desidratação osmótica e fritura de *chips* de abacaxi. Através do estudo da desidratação osmótica, foram determinadas as seguintes condições do pré tratamento: solução ternária a 70°Brix de xarope de glicose (DE 36-39) e sacarose (70% e 30%, respectivamente), 5h a 60°C. O processo de fritura foi estudado através da metodologia de Superfície de Resposta, tendo como variáveis independentes tempo e temperatura de processo. O autor verificou que o processo de fritura conduzido sob vácuo resultou em *chips* de melhor qualidade sensorial, principalmente em relação à conservação da cor e de notas aromáticas da fruta, e em menor alteração do óleo de fritura, com menores teores de compostos polares e de peróxidos.

Krokida e outros (2001) investigaram o uso da desidratação osmótica como pré tratamento à fritura com o objetivo de produzir batata frita tipo “francesa” ou palito. Os autores utilizaram 4 tipos de solução osmótica: sacarose (40%, p/p), NaCl (20%, p/p), maltodextrina DE 12 (20%, p/p) e maltodextrina DE 21 (20%, p/p), à temperatura de 40°C durante 3 h. Em seguida, o material foi submetido à fritura, à temperatura de 170°C, e retirado após os tempos de 0,3, 0,6, 1, 3, 5, 7, 10, 13 e 15 minutos. Os resultados mostraram

que as amostras pré desidratadas osmoticamente apresentaram teores de óleo e umidade menores que aquelas não tratadas, indicando que a desidratação osmótica pode ser um pré tratamento efetivo para produzir batatas fritas com teor de óleo reduzido.

Shyu e Hwang (2001), estudaram os efeitos de pré tratamentos e condições de processo na qualidade de *chips* de maçã fritos sob vácuo. Os pré tratamentos estudados foram: branqueamento das fatias (3,5% NaCl, 98°C, 1 min); branqueamento e congelamento (-30°C); e branqueamento, imersão em solução de frutose (30%, 15 min, 50°C) e congelamento. Em seguida, as amostras foram fritas sob vácuo (pressão absoluta de 2,67 kPa), a diferentes temperaturas (90, 100 e 110°C) e intervalos de tempo (5, 10, 15, 20, 25 e 30 min). As microestruturas dos *chips* observadas através de microscópio eletrônico de varredura mostraram que quando as amostras foram imersas em solução de frutose antes do congelamento e fritura, uma porosidade mais uniforme foi observada no tecido, resultando em melhor qualidade do produto. Ao autores também observaram em outra etapa do estudo que o aumento da concentração da solução de frutose resultou em menor absorção de óleo pelos *chips*, mas também em diminuição dos parâmetros de cor L\* (luminosidade) e b\* (amarelo). Estipulando a medida instrumental de força de quebra como indicador da qualidade do produto, as condições ótimas do processo de fritura a vácuo encontradas foram: temperatura entre 100-110°C, tempo de 20-25 min, e concentração da solução de frutose de 30-40%.

Moyano e Berna (2002), estudaram o efeito da impregnação de sacarose-NaCl na perda de água e incorporação de óleo durante fritura de tiras de batata (7 x 7 x 7 mm). 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 20-5-75 %, em peso. 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% (base seca). O material impregnado e seco, e o material controle, apenas seco, foram conduzidos 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% (para a 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.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROPALMA S/A. **Óleo de palma.** Disponível em: <<http://www.agropalma.com.br/default.aspx?PortalId=7>>. Acesso em: 6 out. 2004.

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y. B.; YUSOF, S.; RAHMAN, R. A. Effects of variety and stage of fruit ripeness on the physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried banana chips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1166-1171, 2001.

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.

ANTONIO, G. C. **Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa do processo de desidratação osmótica de Banana Nanica (*Musa cavendishi*) e de Mamão Formosa (*Carica papaya L.*).** 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

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. 119 p. Memorial apresentado para obtenção de diploma – Ecole Practique

des Hautes Etudes, Sciences de la Vie et de la Terre, Montpellier, França, 1998.

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's law. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 27, p. 409-418, 1992.

BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. 2004. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BERNARDES-SILVA, A. P. F.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Evolução dos teores de amido e açúcares solúveis durante o desenvolvimento e amadurecimento de diferentes cultivares de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 116-120, 2003.

BLEINROTH, E. W., FIGUEIREDO, I. B., VEIGA, A. A., SOARES, N. B., MEDINA, J. C., SABINO, J. C. Avaliação de novas cultivares de manga para industrialização. I. Análise das características físico-geométricas e químicas da matéria-prima. **Boletim do ITAL**, v. 22, n. 2, p. 207-216, 1985.

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.; STIER, R. F. Optimisation of deep fat frying operations. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, n. 3, p. 144-148, 1991.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Introdução à química dos alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001, 143 p.

BOHUON, P.; COLLIGNAN, A. ; RIOS, G. M.; RAOULT-WACK, A. L. Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. **Journal of Food Engineering**, v. 37, p. 451-469, 1998.

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.

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.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUZA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Estatísticas. Culturas. Brasil: área colhida de lavouras temporárias e permanentes. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/CULTURAS/2%5B1%5D.2A.XLS>>. Acesso em: 10 abril 2005. (a)

BRASIL. Ministério da Agricultura. Estatísticas. Culturas. Brasil: produção de lavouras temporárias e permanentes Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/CULTURAS/2%5B1%5D.2B.XLS>>. Acesso em: 10 abril 2005. (b)

CAMARGO, G. A.; MORETTI, R. H.; LEDO, C. A. S. Quality of dried tomato pre-treated by osmotic dehydration, antioxidant application and addition of tomato concentrate. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, Sao Paulo. **Proceedings...**, v. C,

p. 2207-2215.

CARVALHO, C. R. L.; ROSSETTO, C. J.; MANTOVANI, D. M. B.; MORGANO, M. A.; DE CASTRO, J. V.; BORTOLETTO, N. Avaliação de cultivares de manga selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas comparadas a outras de importância comercial. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 264-271, 2004.

COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 153-162, 2001.

CONTRERAS, J. E.; SMYRL, T. G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 14, n. 4, p. 310-314, 1981.

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.

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. Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 9-20, 1997.

DOGARBANES, C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; VELASCO, J. Interactions between fat and

food during deep-frying. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 102, p. 521-528, 2000.

DOBARGANES, M. C.; PÉREZ-CAMINO, M. C. Frying process: selection of fats and quality control. In: International Meeting on Fats & Oils Technology Symposium and Exhibition, 1991. **Proceedings...** p. 58-66.

EMBRAPA. Embrapa Agroindústria Tropical. Filgueiras, H. A. C. (organizadora). **Manga pós-colheita**, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 40 p. (Frutas do Brasil, 2).

EMBRAPA. Embrapa Semi Árido. Costa, J. G.; Santos, C. A. F. (organizadores). **Sistemas de Produção 2. Cultivo da mangueira**. Disponível em: <[http://www.cpatsa.embrapa.br/sistema\\_producao/spmanga/cultivares.htm](http://www.cpatsa.embrapa.br/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm)>. Acesso em: 18 abril 2005.

ERBA, AM L.; FORNI, E.; COLONELLO, A.; GIANGIACOMO, R. Influence of sugar composition and air dehydration levels on the chemical-physical characteristics of osmodehydrofrozen fruit. **Food Chemistry**, v. 50, p. 69-73., 1994.

ERLE, U.; SCHUBERT, H. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 193-199, 2001.

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.

FALCONE, M. A. ; SUAZO, C.A .T. Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananas comosus*, (L) Merrill). Parte I: Influência da temperatura e concentração do xarope sobre a velocidade

de secagem. **Boletim SBCTA**, v. 22, n.1-2, p.17-35, 1988.

FARKAS, D. F., LAZAR, M. E. Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. **Food Technology**, v. 23, p. 688-690, 1969.

GAMBLE, M. H.; RICE, P. Effect of pre-frying drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 22, p. 535-548, 1987.

GAMBLE, M. H.; RICE, P.; SELMAN, J. D. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tuber. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 22, p. 239, 1987.

GARAYO, J.; MOREIRA, R. Vacuum frying of potato chips. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 181-191, 2002.

GIANGIACOMO, R.; TORREGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part I: Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Proc. and Pres.**, v. 11, p. 183-195, 1987.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 33-43, 2003.

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

GUEDES, L. O.; VILELA, P. S. O mercado da manga. **Federação da Agricultura do**

**Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, 1999.

HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, p. 265-284, 1978.

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

HULME, A. C. **The biochemistry of fruit and their products.** v. 2. London: Academic Press, 1970. 788 p.

ISLAM, M. N.; FLINK, J. M. Dehydration of potato. II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. **Journal of Food Technology**, n. 17, p. 387-403, 1982.

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

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.

LARANJEIRA, H. C. A . **Otimização do processo de desidratação osmótica de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) para aplicação à tecnologia de métodos combinados.** 1997. 100 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A . Mass transfer kinetics during osmotic pre concentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Science**, v. 25, p. 151-166, 1995.

LEMAIRE, H.; REYNES, M.; NGALANI, J. A.; GUILLAUMONT, A. Aptitude à la friture de cultivars de plantains et bananes à cuire. **Fruits**, v. 52, p. 273-282, 1997.

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 cinétique de friture des chips de patate douce. **Récents progrès en génie 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 behaviour and product quality. **Journal of Food Science**, n. 50, p. 1217-1226, 1985.

LIMA, J. R. **Avaliação da qualidade de óleo de soja utilizado para fritura**. 1994. 60 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

McGILL, E. A. The chemistry of frying. **Bakers Digest**, June, p. 38-42, 1980.

MEDINA, J. C.; BLEINROTH, E. W.; DE MARTINS, Z. J.; QUAST, D. G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N. M. S.; CANTO, W. L.; BICUDO NETO, L. C. **Manga: da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. 399 p. (Série Frutas Tropicais n. 8).

MEDINA VIVANCO, M. L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2003. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos,

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MEHTA, U.; SWINBURN, B. A review of factors affecting fat absorption in hot chips. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 41, n. 2, p. 133-154, 2001.

MELTON, S. L.; JAFAR, S.; SYKERS, D.; TRIGIANO, M. K. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavour. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v. 71, n. 12, p. 1301-1308, 1994.

MOREIRA, R. G.; CASTELL-PEREZ, M. E.; BARRUFET, M. A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 350 p.

MOREIRA, R. G.; SUN, X.; CHEN, Y. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 485-498, 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.

MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; MARTÍNEZ-PANTOJA, Y.; WELTI-CHANES, J. Response Surface Methodology applied to vacuum osmotic dehydration of mango slices. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENGINEERING AND FOOD, 8., 2001, Puebla, Mexico. **Proceedings...**, p.1305-1309.

NAWAR, W.W. The consumption of fried foods: nutritional considerations. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier "Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits"**, v. 5, n. 1, p. 58-60, janvier/février 1998.

NUNES, M. H. O. **Conservação de fatias de manga utilizando técnicas combinadas: desidratação osmótica e congelamento**. 1997. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade

de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 1997.

OLLÉ, D.; LOZANO, Y. F.; BRILLOUET, J. M. Isolation and characterisation of soluble polysaccharides and insoluble cell wall material of the pulp from four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 44, p. 2658-2662, 1996.

PEROSA, J. M. Y.; PIERRE, F. C. Técnicas de pós-colheita e expansão da cultura da manga no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 381-384, 2002.

PINA, M. G. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MONTEIRO, J. C. S. Processamento e conservação de manga por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 63-66, 2003.

PINTO, A. C. Q.; ANDRADE, S. R. M.; AMARO, A. A., GOMES, U. Mango industry in Brazil. **Acta Horticulturae**. (ISHS) 645: VII International Mango Symposium, p. 37-50, 2004.

PIRES, M. M.; ALVES, J. M.; SÃO JOSÉ, A. R. Current situation and perspectives of mango industry in Petrolina and Juazeiro regions, Brazil. **Acta Horticulturae**. (ISHS) 645: VII International Mango Symposium, p. 375-378, 2004.

PIZZOL, S. J.; FILHO MARTINES, J. G.; SILVA, T. H. S.; GONÇALVES, G. O mercado da manga no Brasil: aspectos gerais. **Preços Agrícolas**, v. 12, n. 142, p. 34, 1998.

PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits – Recent modifications and applications. **Process Biochemistry**, n. 8, p.18-20, 1973.

QI, H.; Le MAGUER, M.; SHARMA, S. K. Design and selection of processing conditions

of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Process Engineering**, n. 21, p. 75-88, 1998.

QUERIDO, A. F. **Estudo de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 219 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RAHMAN, MD. S., LAMB, J. Osmotic dehydration of pineapple. **Journal of Food Science and Technology**, v. 27, n. 3, p. 150-152, 1990.

RAHMAN, MD. S., LAMB, J. Air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated pineapple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 14, p. 163-171, 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.

RAOULT-WACK, A. L.; BRICAS, N. Vers une évolution des démarches de Recherche et Développement dans le secteur Agro-Alimentaire. Le cas de la friture. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier "Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits"**, v. 5, n. 1, p. 47-51, janvier/février 1998.

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.; LISSE, I.; ROUZIERE, A .; MONTET, D.; DUMAS, J. C.; NOEL, J. M. Séchage de produits gras par friture: cas des fruits oleagineux (coco, avocat)

et des sous-produits carnés. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 69-76, 1997.

RAOUX, R. Evolution des propriétés sensorielles des produits de friture de pomme de terre. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier “Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits”**, v. 5, n. 1, p. 51-55, janvier/février 1998.

REY, J. Y.; DIALLO, T. M.; VANNIÈRE, H.; DIDIER, C.; KÉITA, S.; SANGARÉ, M. La mangue en Afrique de l’Ouest francophone: variétés et composition variétale des verges. **Fruits**, v. 59, p. 191-208, 2004.

REYNES, M.; AYMARD, C.; AW, B. Production de chips d’ananas par le procédé combiné deshydratation osmotique-friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 139-150, 1997.

RODRIGUES, A. C. C.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 129-135, 2003.

ROE, B.; BRUEMMER, J. H. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of “Keitt” mangoes. **Journal of Food Science**, v. 16, p. 187-189, 1981.

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. Deep-fat frying: basic principles and applications. **Récents progrès en génie**

**des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 57-68, 1997.

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, janvier/février 1998.

SAUREL, R.; RAOULT-WACK, A. L.; RIOS, G.; GUILBERT, S. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I. Fresh plant tissue. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 29, p. 531-542, 1994.

SHI, X. Q.; FITO, P. Vacuum osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, v. 11, n. 6, p. 1429-1442, 1993.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, n. 28, p. 445-454, 1995.

SHI, J. X.; Le MAGUER, M.; WANG, S. L.; LIPTAY, A. Application of osmotic treatment in tomato processing – effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**, v. 30, n. 9, p. 669-674, 1997.

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.

SILVA, C. R. R.; FONSECA, E. B. A.; MOREIRA, M. A. **A cultura da mangueira**. Boletim Técnico de Extensão da UFLA (Universidade Federal de Lavras). Disponível em : <[http://www.editora.ufla.br/boletim/pdfextensao/bol\\_24.pdf](http://www.editora.ufla.br/boletim/pdfextensao/bol_24.pdf)>. Acesso em: 15 março de 2005.

SILVA, D. P. Estudo da secagem de lodo de esgoto através da fritura de imersão. 2003. 180 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SIQUEIRA, D. L.; BOTREL, N.; CARVALHO, V. D.; RAMOS, V. H. V.; COUTO, F. A. D. Características físicas e químicas de frutos de vinte cultivares de mangueira (*Mangífera indica* L.) em Uberaba –MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 10, n. 2, p. 49-54, 1998.

SKREDE, G.; NILSSON, A.; BAARDSETH, P.; ROSENFELD, H. J.; ENERSEN, G., SLINDE, E. Evaluation of carrot varieties for production of deep fried carrot chips – III. Carotenoids. **Food Research International**, v. 30, n. 1, p. 73-81, 1997.

SLINDE, E.; SKREDE, G; AUKRUST, T.; BLOM, H.; BAARDSETH, P. Lactic acid fermentation influence on sugar content and colour of deep-fat fried carrot chips. **Food Research International**, v. 26, n. 4, p. 255-260, 1993.

SOARES, N. B. Mangueira. In: MELETTI, L. M. M. **Propagação de frutíferas tropicais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. P. 178-187.

SOUZA FILHO, M. S. M.; NASSU, R. T.; BRANDÃO, M. C. C.; MACHADO, T. F.; SOUZA, P. H. M. Obtenção de produto de umidade intermediária através da desidratação osmótica de manga. In: **Simpósio “Avanços Tecnológicos na Agroindústria Tropical”**, 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CNPAT-Embrapa, p. 101-105.

STAFFORD, A. E. Mango. In: CHAN, H. T. J. **Handbook of tropical foods**. New York: Marcel Dekker, 1983, p. 399-431.

TELIS, V. R. N; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during

dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 253-259, 2004.

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

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

TORREGIANI, D.; FORNI, E.; RIZZOLO, A. Osmotic dehydration of fruit. Part 2: Influence of the osmosis time on the stability of processed cherries. **Journal of Food Processing Preservation**, n. 12, p. 27-44, 1987.

VAILLANT, F. **Produccion de chips de frutas tropicaes mediante acoplamiento DII-fritura bajo vacio**. Material apresentado durante “Workshop sobre Fritura” realizado por CIRAD, FEA-UNICAMP, UNESP, ITAL. Campinas, 23 de novembro de 1999. 16 transparências.

VARELA, G. Current facts about the frying of foods. IN: **Frying of Foods**. VARELA, G.; BENDER, A. E.; MORTON, I. D. England: VCH Chichester, 1988. p. 9-25.

VITRAC, O. **Caractérisation expérimentale et modélisation de l’opération de friture**. 2000. 326 p. Tese (Doctorat en Génie de Procédés) - École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, França, 2000.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A. L. Produits frits a base de manioc en Colombie: aptitude clonale et relation procede/qualite. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, 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.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A. L. Deep-fat frying of cassava: influence of raw material properties on chip quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 227-236, 2000.

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.

VIVANCO, P. D; HUBINGER, M. D.; SOBRAL, P. J. A. Mass transfer in osmotic dehydration of Atlantic Bonito (*Sarda sarda*) fillets under vacuum and atmospheric pressure. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, Sao Paulo. **Proceedings...**, v. C, p. 2105-2112.

WELTI, J.; PALOU, E.; LOPEZ MALO, A .; BALSEIRA, A . Osmotic concentration – drying of mango slices. **Drying Technology**, v. 13, p. 405-416, 1995.



## CAPÍTULO 2:

### ESTUDO DA VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO DE ÓLEO DE FRITURA DE MANGA, BASEADO NAS CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO E DO ÓLEO<sup>1</sup>

#### RESUMO

O presente trabalho visou verificar as alterações nas características de manga frita previamente desidratada e no óleo de palma refinado utilizado em até 15 frituras sucessivas à temperatura de 160°C ininterruptamente. Foram realizadas análises de ácidos graxos livres (% ácido palmítico) no óleo inicial (sem uso) e após as frituras números 5, 10 e 15, e de sólidos totais e umidade, lipídeos totais e análise instrumental de cor para os produtos obtidos das frituras em óleo utilizado após 1, 5, 10 e 15 frituras sucessivas. Os resultados de cor variaram para os parâmetros L\* (luminosidade) de 37,50 a 39,07, b\* de +18,35 a +20,73 e a\* de +9,49 a +10,97; de lipídeos totais de 20,70 a 26,29%; de sólidos totais de 78,26 a 80,25 %; de umidade de 19,75 a 21,74 %. Partindo-se do óleo de palma refinado com teor de ácidos graxos livres de 0,05, após 15 frituras verificou-se alteração para 0,07 %. Este valor se encontra bem abaixo dos valores permitidos pela legislação de países como Alemanha, Áustria e Bélgica. Assim conclui-se que até a 15<sup>a</sup> fritura de manga desidratada em óleo de palma e nas condições do estudo, a qualidade do óleo manteve-se adequada para uso, permitindo sua reutilização.

**Palavras-chave:** fritura por imersão, ácidos graxos livres, teor de lipídeos.

---

<sup>1</sup> Apresentado no 4º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, Campinas, 2001.

## SUMMARY

This study aimed to verify alterations in the characteristics of previously dehydrated mango and in the refined palm oil used for the frying procedure, when reused up to 15 times successively at an uninterrupted temperature of 160°C. The % free fatty acids was determined in the oil after the 5<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> frying procedures, and the total solids, moisture and total lipid contents and instrumental colour of the products obtained from the 1<sup>st</sup>, 5<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> frying procedures. The values for colour varied for the parameters L\* (luminosity) from 37.50 to 39.07, b\* from +18.35 to +20.73, and a\* from +9.49 to +10.97, for total lipid content from 20.70 to 26.29%; for total solids from 78.26 to 80.25%; for moisture content from 19.75 to 21.74. The initial free fatty acids content of the refined palm oil was 0.05% as palmitic acid, and after 15 frying procedures the value had risen to a mean of 0.07%. These values are well below the permitted values in countries such as Germany, Austria and Belgium. It was thus concluded that under the conditions of this study, palm oil could be reused for up to 15 frying procedures in the preparation of chips from dehydrated mango, the oil remaining in adequate conditions.

**Keywords:** deep-fat frying, free fat acids, lipid content.

## INTRODUÇÃO

A fritura é um processo de secagem e cozimento bastante difundido em todas as escalas de produção (fritura doméstica, artesanal ou industrial), para diversos tipos de produtos de origem animal ou vegetal (BLUMENTHAL e STIER, 1991). Além de ser empregada como sistema de cozimento tradicional, também é utilizada para fabricação de produtos do tipo fritos e *chips* (RAOULT-WACK *et al.*, 1997).

Durante a fritura, o alimento é submerso em óleo aquecido, na presença de ar. Assim, o óleo é exposto à ação de 4 agentes que causam drásticas mudanças em sua estrutura: (1) umidade do alimento, levando a alterações hidrolíticas; (2) oxigênio atmosférico, levando à alteração oxidativa; (3) altas temperaturas nas quais se dá o processo de fritura, resultando em alteração térmica; e (4) contaminação pelos ingredientes do alimento. Tais alterações resultam em conversão parcial do óleo em produtos voláteis de quebra de cadeia, derivados oxidados não voláteis, dímeros, polímeros e substâncias cíclicas compostas (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999; DOBARGANES, MÁRQUEZ-RUIZ e VELASCO, 2000).

O processo de fritura pode ser classificado quanto às dimensões do equipamento utilizado: fritura profunda e superficial, através do fator R proposto por Guillaumin em 1973, definido como a relação da superfície do banho (S) medido em  $\text{dm}^2$  e o volume (V) do óleo expresso em  $\text{dm}^3$ . No caso dos *chips* é utilizada a fritura profunda. Quanto ao aproveitamento do óleo empregado, na fritura profunda o óleo pode ser reutilizado uma dezena de vezes, o que não ocorre na fritura superficial (GRAILLE, 1997).

Quanto ao tipo de reação que ocorre no processo de fritura, na fritura superficial predominam as reações oxidativas e termoxidativas, uma vez que as reações de oxidação se dão essencialmente na interface óleo/ar, enquanto que as reações térmicas predominam na fritura profunda (GRAILLE, 1997). Na fritura por imersão de um material com alto teor de umidade, alguns autores afirmam que a hidrólise é a reação mais importante, porém em estudos de fritura de batata em laboratório em diversas e bem controladas condições,

produtos da hidrólise foram encontrados em menor quantidade dentro do total de compostos obtidos, indicando que outras variáveis, dependentes ou não do tipo de alimento, tem um efeito mais importante que o teor de umidade (DOBARGANES, MÁRQUEZ-RUIZ e VELASCO, 2000).

As mudanças químicas e físicas no óleo podem levar ao aumento do tempo de processo, aumento da quantidade de óleo absorvido pelo alimento, induzir toxicidade e diminuir o valor nutricional do alimento (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

O uso de óleo altamente degradado leva à perda de qualidade do alimento frito. Em óleos degradados há uma grande quantidade de compostos surfactantes, que reduzem a tensão superficial, e conseqüentemente aumentam o contato entre alimento e óleo, propiciando a sua incorporação (SAGUY, UFHEIL e LIVINGS, 1998). Além disso, o aumento da quantidade de surfactantes no sistema leva ao aumento da formação de espuma e assim a uma maior exposição do óleo ao ar, acelerando ainda mais as reações de oxidação (BLUMENTHAL e STIER, 1991).

Os compostos de degradação presentes no óleo levam a várias modificações que são visivelmente notadas: formação de espuma, como citado anteriormente, devido à presença de surfactantes e produtos de polimerização no óleo; aumento da viscosidade e densidade relacionados à presença de polímeros; escurecimento devido à presença de compostos carbonílicos insaturados ou de compostos não polares do alimento solubilizados no óleo; desenvolvimento de odores e sabores típicos de óleos expostos a altas temperaturas

Existem dezenas de análises realizadas para o monitoramento do óleo de fritura usado, de acordo com os produtos obtidos das diferentes reações de degradação. Os métodos mais utilizados são: métodos padrão, incluindo determinação de compostos polares totais, índice de acidez (ácidos graxos livres), índice de peróxidos, índice de anisidina (aldeídos), reações colorimétricas (ácidos graxos oxidados), índice de iodo (duplas ligações), ponto de fumaça (compostos voláteis, ácidos graxos livres); testes rápidos, como constante dielétrica (com aumento de compostos polares, há um aumento da constante dielétrica) testes Oxifry (Merck, Alemanha), Very Fry (Libra Laboratories, EUA), Spot (ácidos graxos livres) e análise de materiais alcalinos contaminantes (Libra

Laboratories, EUA); e procedimentos mais complexos, como cromatografia líquido-gasosa (polímeros, compostos de oxidação) e cromatografia por exclusão (compostos polares, como dímeros, polímeros, triglicerídeos oxidados, diglicerídeos, ácidos graxos livres) (DOGARBANES e PEREZ-CAMINO, 1988; FIRESTONE, STIER e BLUMENTHAL, 1991; WHITE, 1991; LIMA, 1994; DOGARBANES E MÁRQUEZ-RUIZ, 1998).

Em relação ao produto, o uso de óleo degradado reflete na sua qualidade, resultando em maior absorção de óleo, maior escurecimento, e desenvolvimento de sabor e aroma indesejáveis.

Blumenthal e Stier (1991) verificaram mudanças nas características de qualidade de batata frita (tipo palito) obtidas por fritura em óleo de diferentes níveis de degradação:

Óleo novo: produto branco, amido não gelatinizado no centro, sem aroma de cozido, superfície não crocante, baixa quantidade de óleo aderido ao produto;

Óleo fresco: leve escurecimento nas bordas, centro parcialmente cozido, superfície pouco crocante, ligeiro aumento na absorção de óleo;

Óleo ótimo: alimento com cor castanho dourado, superfícies rígidas e crocantes, aroma típico produto, centro perfeitamente cozido, absorção de óleo ideal;

Óleo degradado: superfície do alimento escurecidas e/ou manchadas, excesso de absorção de óleo, superfícies duras;

Óleo de descarte: produto escuro, superfícies do produto endurecidas, excessiva quantidade de óleo absorvido, centro não cozido totalmente, odor e sabor de queimado.

Porém, muitas das mudanças que ocorrem no óleo e no alimento durante a fritura são necessárias para produzir as características sensoriais típicas do produto frito. A toxicidade de alimentos fritos está relacionada à falta de controle das condições de operação, como uso de óleo com abusivo aquecimento e/ou oxidação. Há um consenso atual que compostos tóxicos podem ser produzidos em óleos e gorduras abusivamente aquecidos e/ou oxidados, mas a ingestão moderada de alimentos fritos em óleo de boa qualidade e com controle das condições de processo não representa um risco significativo

para a saúde (NAWAR, 1998).

O presente trabalho visou verificar as alterações nas características de manga previamente desidratada osmoticamente e frita em óleo de palma utilizado em até 15 frituras à temperatura de 160°C ininterruptamente. Foram realizadas análises de ácidos graxos livres no óleo de fritura, e de sólidos totais, lipídeos totais e análise instrumental de cor no produto frito.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Material**

Mangas (cultivar Tommy Atkins), no estado de maturação entre “de vez” e maduro, foram adquiridas no Ceasa de Campinas-SP, fatiadas manualmente na espessura de 3mm e parcialmente desidratadas em solução de sacarose comercial 65°Brix, em incubadora orbital (modelo MA 830, Marconi, Brasil), por 40 minutos à temperatura de 48°C e agitação de 200 rpm.

Para fritura foram utilizados gordura vegetal hidrogenada para fritura *Cuking Fry* (Bunge Alimentos) e óleo de palma refinado cedido pela empresa Agropalma.

### **Equipamento de fritura**

O processo de fritura foi utilizado uma fritadeira de aço inox (modelo F25, Croydon, Brasil), com capacidade de 12 L, configuração paralelepípedica, de dimensões de 35 x 42 x 45 cm (altura, largura, profundidade), equipada com dois cestos. O aquecimento era realizado através de uma resistência elétrica de 5kW, e o controle de temperatura através de um sistema digital (tipo E5GN-Q1TC, Omron, Brasil) acoplado ao equipamento.

Foi estipulada uma massa de 10 kg (ou 11,2 L, considerando densidade do óleo de palma de 0,89 a 50°C) para condução dos experimentos, que segundo a razão entre a superfície da fritadeira ( $\text{dm}^2$ ) e o volume de óleo ( $\text{dm}^3$ ), fator R proposto por Guillaumin

(1973) (citado por GRAILLE, 1997), caracteriza a fritura como de imersão.

### **Determinação da razão produto:óleo**

A fim de se escolher a razão de produto e óleo para minimizar a queda do valor da temperatura inicial de trabalho, com uma recuperação mais rápida ao longo do processo de fritura, foram realizados ensaios utilizando as razões 1:30 e 1:40, correspondendo a 335 g e 250 g, respectivamente, de manga parcialmente desidratada para 10 kg de óleo, nas temperaturas de 140, 160 e 180°C, durante 3,5 minutos de processo. Para estes ensaios foi utilizada a gordura *Cukin Fry* como óleo de fritura. Em seguida, foi realizado ensaio com óleo de palma refinado, nas condições de temperatura inicial de 160°C e razão 1:40 de produto e óleo, a fim de se comparar o perfil de temperatura com aquele obtido para a gordura vegetal *Cukin Fry*.

Estudo da viabilidade de reutilização do óleo baseado nas características do produto e do óleo

Para verificar a influência da reutilização do óleo nas características do produto final foram realizadas 15 frituras sucessivas de 250g de manga previamente desidratada, na proporção de material e óleo de 1:40, na temperatura inicial de 160°C por 3,5 minutos. As amostras obtidas das frituras de números 1, 5, 10 e 15 foram analisadas em termos de sólidos totais, umidade, lipídeos totais e análise instrumental de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

Para a avaliação da qualidade do óleo após 5, 10 e 15 frituras foram realizadas análises de ácidos graxos livres (% ácido palmítico), comparando-se com o óleo inicial.

### **Determinações analíticas**

Os teores de sólidos totais da amostra osmoticamente desidratada e das amostras osmoticamente desidratadas e fritas foram determinados através de secagem em estufa a

vácuo, até peso constante, de acordo com método 934.06 da AOAC (1997).

Os teores de lipídeos totais foram determinados através do método descrito por Bligh e Dyer (1959).

A análise instrumental da cor foi realizada através da leitura dos parâmetros L\* (luminosidade), a\* (+a\* vermelho, -a\* verde), b\* (+b\* amarelo, -b\* azul), sistema CIELab (MINOLTA CAMERA Co, 1993), em espectrofotômetro Hunter Lab, utilizando calibração RSIN, iluminante D<sub>65</sub> e um ângulo de detecção de 10°.

A acidez do óleo em termos de ácidos graxos livres foi analisada para as amostras do óleo inicial e de óleo utilizado segundo método Ca 5a-40 da AOCS (2003).

### **Análise estatística**

Foi realizada análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos e diferenças entre as médias verificadas através do teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança, utilizando o programa estatístico SAS 8.0 (Statistical Analysis System).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Determinação da razão produto:óleo através do perfil de temperatura durante fritura**

A Figura 1 mostra os perfis de temperatura da gordura vegetal *Cukin* nas temperaturas iniciais de 140°C, 160°C e 180°C, utilizando as razões 1:30 e 1:40 de produto e óleo, e o perfil de temperatura para o óleo de palma refinado, à temperatura de 160°C e razão 1:40 de produto e óleo.

Pode-se perceber uma maior queda da temperatura inicial, para as três condições estudadas (140, 160 e 180°C), quando se utiliza a proporção de produto e óleo de 1:30, ou seja, colocando-se uma maior massa de produto (335 g) no óleo aquecido (gordura vegetal comercial *Cukin Fry*), o que resulta em uma temperatura mais baixa de processo até a

recuperação do seu valor inicial, a cerca de 120 segundos, em relação à razão de produto e óleo de 1:40 (250 g).

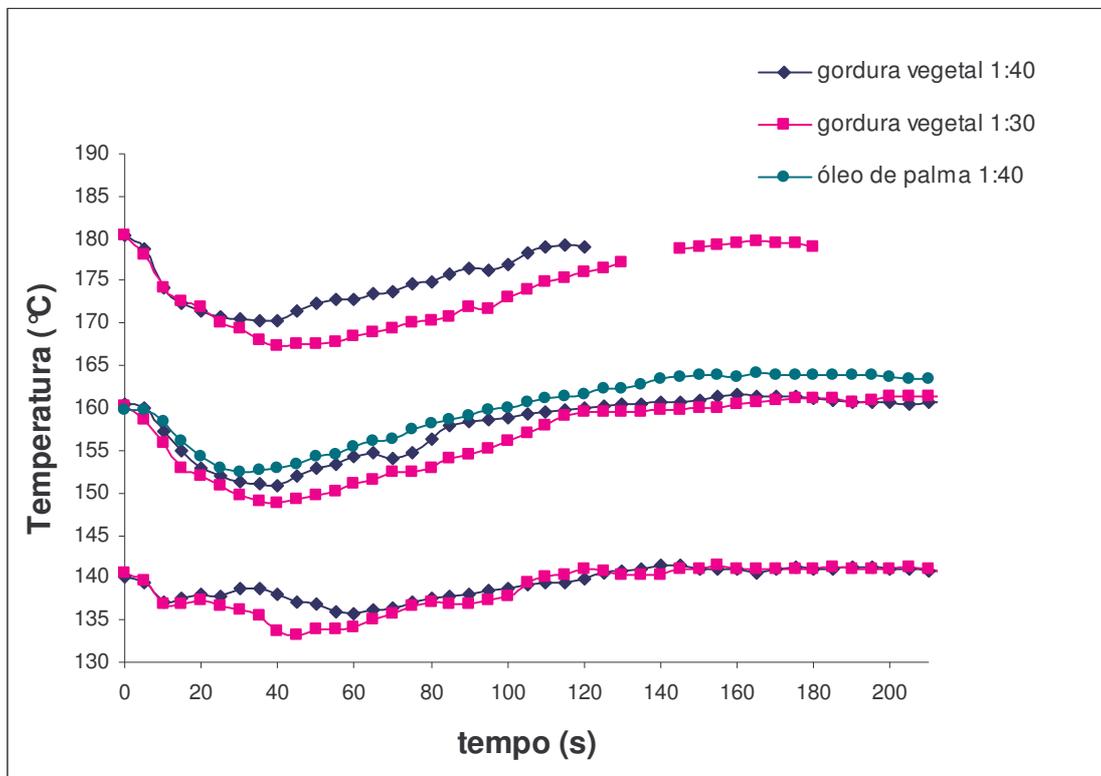
Este comportamento acontece devido à perda calorífica do óleo quente em contato com o material frio (à temperatura ambiente ao início do processo), e quanto maior a massa de material, maior será a queda da temperatura do óleo.

Segundo Moreira, Castell-Perez e Barrufet (1999) condições isotérmicas de fritura são obtidas mantendo-se uma razão de massa de produto e de óleo muito baixa, através da fritura de uma poucas fatias de produto; na prática este tipo de condição é impossível, e condições não isotérmicas são empregadas em sistemas de fritura por batelada. O gradiente de temperatura do óleo durante o processo pode afetar o tempo de residência do produto na fritadeira e a qualidade do produto final.

Diaz e outros (1996) estudaram o efeito da razão de massa de produto e de óleo na cinética de fritura de chips de plátano em uma fritadeira de 3 kg equipada com sistema de agitação. Para a razão 1:10, a temperatura do banho teve uma queda de 15°C, iniciando a recuperação do valor inicial (150°C) após 60 segundos, tempo significativo quando comparado aos 240s requeridos para evaporar 95% da água do produto. No caso da menor razão, 1:40, uma maior homogeneidade do processo foi observada, com decréscimo de apenas 6°C da temperatura inicial do banho de óleo (165°C).

Para que haja um maior controle e uma maior homogeneidade da temperatura ao longo do processo de fritura é necessário minimizar a queda da temperatura inicial estipulada. Dessa forma, a menor razão de manga e óleo estudada, de 1:40, é mais indicada.

A fritura de fatias de manga em óleo de palma refinado ocasionou uma queda menor da temperatura inicial de 160°C (7,6°C) e uma recuperação mais rápida em comparação à gordura vegetal *Cukin Fry*, mostrando o maior poder calorífico deste óleo.



**Figura 1:** Perfil de temperatura da gordura vegetal *Cukin Fry* durante fritura de manga osmoticamente desidratada às temperaturas iniciais de 140°C, 160°C e 180°C e do óleo de palma à temperatura inicial de 160°C.

### Determinações analíticas no produto

A Tabela 1 apresenta os teores de sólidos totais, umidade e lipídeos totais em base úmida das amostras de manga desidratada osmoticamente (DO) e desidratada e frita (DO-frita), após as 1, 5, 10 e 15 frituras sucessivas utilizando o mesmo óleo de palma refinado inicial.

**Tabela 1:** Teores de sólidos totais, umidade e lipídeos totais na manga DO e DO-frita.

Amostra	Sólidos Totais (%)	Umidade (%)	Lipídeos (b.u.)(%)
Manga DO*	31,88 ± 0,11d	68,12 ± 0,11d	0,29 ± 0,03 e
Amostra frita 1**	80,25 ± 0,30 a	19,75 ± 0,30 a	22,26 ± 0,08 c
Amostra frita 5	79,92 ± 0,28 a,b	20,08 ± 0,28 a,b	26,29 ± 0,39 a
Amostra frita 10	79,47 ± 0,29 b	20,53 ± 0,29 b	20,70 ± 0,13 d
Amostra frita 15	78,26 ± 0,16 c	21,73 ± 0,16 c	24,17 ± 0,03 b

\* manga desidratada osmoticamente antes da fritura.

\*\* amostras de manga pré desidratada e frita em óleo utilizado após 1, 5, 10 e 15 frituras.

Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Observa-se um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) do teor de umidade nas amostras fritas em óleo utilizado após 15 frituras em relação às amostras fritas no óleo inicial óleo novo (amostra frita 1). Porém, considerando que todas as amostras fritas apresentaram altos teores de umidade, não podendo ser consideradas produtos tipo *chips* (umidade menor que 7%), esta variação não é considerada importante.

Já no caso do teor de lipídeos, apesar da variação do valor de 20,70 a 26,29%, e todas amostras apresentarem diferenças significativas entre si ( $p < 0,05$ ), tal variação não tem relação com aumento do número de frituras no mesmo óleo.

Os valores da determinação instrumental de cor nos produtos na manga pré desidratada osmoticamente e frita encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2:** Parâmetros de cor das amostras de manga DO-frita.

Amostra	L*	a*	b*
Amostra frita 1*	37,50 ± 0,33 <b>d</b>	9,49 ± 0,20 <b>d</b>	18,35 ± 0,12 <b>c</b>
Amostra frita 5	38,80 ± 0,38 <b>b</b>	10,97 ± 0,22 <b>b</b>	20,73 ± 0,60 <b>b</b>
Amostra frita 10	39,07 ± 0,10 <b>b</b>	10,70 ± 0,23 <b>b</b>	20,34 ± 0,18 <b>b</b>
Amostra frita 15	38,14 ± 0,34 <b>c</b>	10,32 ± 0,21 <b>c</b>	18,76 ± 0,50 <b>c</b>

\*As amostras 1, 5, 10 e 15 representam respectivamente manga pré desidratada e frita em óleo utilizado após 1, 5, 10 e 15 frituras.

Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Apesar da diferença significativa entre as amostras no decorrer da fritura (com exceção das amostras 5 e 10), os valores apresentam-se muito próximos entre si, e além disso não há relação entre o aumento do número de frituras no mesmo óleo com a perda de luminosidade das amostras fritas.

O mesmo acontece com os parâmetros de a\* (vermelho) e b\* (amarelo), observa-se uma pequena variação entre as amostras e sem relação com o tempo de utilização do óleo.

Segundo Blumenthal e Stier (1991), o uso de óleo degradado reflete na qualidade do produto final, como maior escurecimento, maior absorção de óleo (devido à presença de compostos surfactantes) e desenvolvimento de sabor e aroma indesejáveis. No caso da fritura de manga, a reutilização do óleo até 15 vezes não acarretou em mudanças nas características do produto, como teor de lipídeos e parâmetros de cor.

### Acidez do óleo

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de ácidos graxos livres no óleo inicial e no mesmo óleo submetido a fritura sucessivas.

**Tabela 3:** Valores de ácidos graxos livres (AGL), em % de ácido palmítico, no óleo inicial e reutilizado após sucessivas frituras.

Amostras	AGL (% ácido palmítico)
Óleo inicial	0,05 <b>c</b>
Óleo após 5 frituras	0,06 <b>b</b>
Óleo após 10 frituras	0,07 <b>a</b>
Óleo após 15 frituras	0,07 <b>a</b>

Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O aumento do número de frituras de 5 para 10 e 15 vezes levou a um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) do teor de ácidos graxos livres no óleo, resultado da reação de hidrólise ocorrida durante o processo. No entanto o valor após 15 frituras (0,07 %) é ainda bastante baixo.

No Brasil não existe legislação específica para limites de porcentagem de ácidos graxos livres em óleos de fritura. De acordo com a legislação de alguns países europeus, o limite máximos para a acidez do óleo utilizado é de 2,5 % na Alemanha e Áustria, e de 5 % (ou 2,5 % de AGL) na Bélgica (OLLÉ, 1998). Nos Estados Unidos o limite máximo de AGL é de 2% (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999). O valor de 0,07 % de AGL (ou 0,15 % de acidez) encontrado no óleo de palma após 15 frituras sucessivas de manga previamente desidratada se encontra bem abaixo dos limites aceitáveis destes países, e portanto, de acordo com este índice analítico, a qualidade do óleo manteve-se adequada.

O índice de acidez, ou porcentagem de ácidos graxos livres, é uma medida analítica amplamente utilizada na indústria de *snacks* para monitoramento da qualidade do óleo de fritura, porém não é um índice tão criterioso quanto a medida de compostos polares totais para se determinar o descarte, pois muitas vezes o óleo pode estar abaixo do limite estipulado para AGL e já superior ao limite dos compostos polares totais (inferior a 25% de acordo com legislação européia) (TSENG, MOREIRA e SUN, 1996). Isto acontece porque os ácidos graxos livres são os primeiros produtos da degradação dos triglicerídeos, e devido a fatores como calor, luz e oxidação, se convertem a uma variedade de outros compostos polares, tornando sua quantificação analítica não proporcional à degradação do óleo (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999). Assim, é recomendável em frituras comerciais e industriais a medida da acidez aliada ao monitoramento de outras características, como ponto de fumaça, cor do óleo, formação de espuma.

## CONCLUSÕES

- A menor razão de produto: óleo (1:40) utilizada para fritura de fatias de manga previamente desidratadas osmoticamente resultou em uma maior homogeneidade do processo, com menor queda da temperatura inicial e sua recuperação mais rápida.
- O uso de óleo de palma para fritura de manga por 15 vezes ininterruptas não causou perda de qualidade do produto, verificada através das características de umidade, teor de lipídeos e parâmetros de cor, e do próprio óleo, de acordo com a porcentagem de ácidos graxos livres presente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 16th. ed. Gaithersburg: AOAC, 1997.

AOCS. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society.** 5th. ed. Champaign: AOCS, 1998.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BLUMENTHAL, M. M.; STIER, R. F. Optimisation of deep fat frying operations. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, n. 3, p.144-148, 1991.

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. **Lebensm.-Wiss. u. Technol**, v. 29, n. 5-6, p. 489-497, 1996.

DOGARBANES, M. C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G. Regulation of used frying fats and validity of quick tests for discarding the fats. **Grasas y Aceites**, v. 49, n. 3-4, p. 331-335, 1998.

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

DOGARBANES, C.; PÉREZ-CAMINO, M. C. Systematic evaluation of heated fats on quantitative analytical methods. **Journal of AOCS**, v. 65, n. 1, p. 101-105, 1988.

FIRESTONE, D.; STIER, R. F.; BLUMENTHAL, M. M. **Food Technology**, v. 45, n. 2, p.

90-94, 1991.

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

LIMA, J. R. **Avaliação da qualidade de óleo de soja utilizado para fritura**. 1994. 60 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

MINOLTA CAMERA CO, LTD. **Precise colour communication: colour control from feeling to instrumentation**. Osaka. 49 p, 1993.

MOREIRA, R. G.; CASTELL-PEREZ, M. E.; BARRUFET, M. A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999.

NAWAR, W. W. The consumption of fried foods: nutritional considerations. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier “Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits”**, v. 5, n. 1, p. 58-60, janvier/février 1998.

OLLÉ, M. Les huiles de friture: état de la situation et aspects réglementaires. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier “Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits”**, v. 5, n. 1, p. 55-57, janvier/février 1998.

RAOULT-WACK, A. L.; LISSE, I.; ROUZIERE, A. ; MONTET, D.; DUMAS, J. C.; NOEL, J. M. Séchage de produits gras par friture: cas des fruits oleagineux (coco, avocat) et des sous-produits carnés. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 69-76, 1997.

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, janvier/février 1998.

TSENG, Y. C.; MOREIRA, R. G.; SUN, X. Total frying – use time effects on soybean oil deterioration and on tortilla chip quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 31, p. 287-294, 1996.

WHITE, P. J. Métodos para medir los cambios em los aceites de fritura por inmersión em grasas. **Alimentaria**, n. 225, p. 81-87, 1991.



### CAPÍTULO 3:

## USE OF A COMBINED PROCESS OF OSMOTIC DEHYDRATION AND DEEP-FAT FRYING TO OBTAIN MANGO CHIPS FROM THE VARIETY TOMMY ATKINS<sup>2</sup>

### SUMAMRY

The cultivar of mango “Tommy Atkins” is becoming increasingly important in the semi-arid North eastern region of Brazil, leading to a search for ways to improve the value of this fruit, for example by implementing new processing technologies. The market for chips and snacks is constantly increasing, mostly using starch rich raw materials. Chips from low starch fruits, such as apple and pineapple, have also been gaining space on the foreign market, since apart from being attractive and practical, they can also serve as a source of vitamins and minerals. The chips should present the following characteristics: low fat contents, agreeable sensory characteristics, good texture and preservation of the nutrients, thus requiring optimisation of the process variables and use of pre-treatments. This study consists in the use of a combined process of pre-osmotic dehydration (carried out under vacuum and at atmospheric pressure) and deep-fat frying to develop mango chips from Tommy Atkins cultivar. Fat, moisture and vitamin C contents of the produced chips were determined, as well as sensory evaluation was applied.

**Keywords:** *Mangifera indica*, chips, pre-treatment, deep fat frying, vacuum.

---

<sup>2</sup> Artigo publicado na Revista Acta Horticulturae, v. 645, p.285-291, 2004.

**USO DO PROCESSO COMBINADO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E  
FRITURA PARA OBTENÇÃO DE CHIPS DE MANGA DA VARIEDADE TOMMY  
ATKINS: ENSAIOS PRELIMINARES**

**RESUMO**

A cultivar de manga “Tommy Atkins” vêm aumentando sua importância na região semi-árida do Nordeste brasileiro, levando à procura por alternativas para aumentar o valor agregado à esta fruta, como a implementação de novas tecnologias de processamento. O mercado de *chips* e *snacks* está constantemente em crescimento, principalmente utilizando matérias-primas ricas em amido. *Chips* de frutas com baixo teor de amido, como maçã e abacaxi, tem ganhado espaço no mercado externo, pois além de práticos e atrativos, podem ser fontes de vitaminas e minerais. Os *chips* devem apresentar as seguintes características: teor baixo de óleo, características sensoriais agradáveis, boa textura e preservação de seus nutrientes, e para tanto é necessário a otimização das variáveis do processo e o uso de pré tratamentos. Este estudo consiste no uso do processo combinado de pré desidratação osmótica (conduzida à pressão atmosférica e a vácuo) e fritura por imersão, para desenvolvimento de *chips* de manga Tommy Atkins. Teores de óleo, de umidade e de vitamina C dos *chips* produzidos foram determinados, e a avaliação sensorial realizada.

**Keywords:** *Mangifera indica*, *chips*, pré tratamento, fritura, vácuo.

## INTRODUCTION

Recently the market for chips and snacks has been occupying an increasingly greater space, especially in urban centres. The majority of these products refer to potato chips or other fried products based on starch rich raw materials such as banana, plantain (*Musa paradisiaca* L.) and cassava (DIAZ *et al.*, 1996; TRELEA *et al.*, 1997; VITRAC, DUFOUR and RAOULT-WACK, 1997; DIAZ *et al.*, 1999; AMMAWATH *et al.*, 2002). However chips based on low starch fruits such as pineapple (REYNES, AYMARD and AW, 1997) and apple (SHYU and HWANG, 2001) have also been developed, since in addition to being attractive and practical, they could also be sources of vitamins, mineral salts and fibres.

In order to obtain good quality chips, with the development of a good texture and sensory characteristics, it is important to guarantee low final oil and moisture contents, which could be achieved by pre-treatments which reduce the initial moisture content of the raw material, such as a partial dehydration before frying.

Recently, osmotic dehydration has been widely used as a pre-treatment in conservation processes for fruits and vegetables (HENG, GULBERT and CUQ, 1990; SHI, FITO and CHIRALT, 1995; TORREGGIANI and BERTOLO, 2001). Osmotic dehydration consists of the removal of water from solid foods such as pieces of fruits and vegetables by their immersion in a hypertonic dehydrating solution. The driving force for water removal is the concentration gradient between the osmotic solution and the intracellular fluid, with the tissue cell wall acting as a semi-permeable membrane (RAOULT-WACK *et al.*, 1991; SHI, FITO and CHIRALT, 1995; ERTEKIN and CAKALOZ, 1996). This process causes two principle flows, which are simultaneous and contrary: the flow of water from the food to the solution and the simultaneous transfer of solute from the solution into the food (HENG, GULBERT and CUQ, 1990; SAUREL *et al.*, 1994). The amount and rate of water removal depend on a variety of process variables and parameters, such as the concentration and chemical concentration of the osmotic solution, the immersion time, temperature, ratio between the solution and the product, superficial area and geometry of the product and

shaking of the solution (PONTING, 1973; CONTRERAS and SMYRL, 1981; BOHUON and RAOULT-WACK, 2002).

The deep-fat frying process used in chip manufacture, in addition to reducing the water content, results in the sterilisation of the product surface with the heat destruction of micro-organisms and inactivation of the enzymes responsible for product degradation (REYNES, AYMARD and AW, 1997). On the other hand, during the frying process, the oil is exposed to high temperatures in the presence of air and moisture, ideal conditions for numerous structural modifications due to hydrolytic, oxidative and thermal reactions, causing quality losses of both the oil and the product submitted to frying. Thus the following are important in process control: temperature, frying time, type of frying (continuous or batch), pre-treatments, the nature of the oil used such as the degree of unsaturation, the initial quality and additives (VARELA, 1985).

Thus the focus of this work was to study a combination of the processes of osmotic dehydration and deep-fat frying using mango as the raw material, since this is one of the most appreciated tropical fruits world-wide due to its exotic flavour, attractive colour, vitamins (A and C) contents, soluble and insoluble fibres and mineral salts. In addition, the use of this raw material is of economic interest, since the annual Brazilian production is estimated as 850,000 tons, making Brazil the seventh World producer. However it suffers losses of up to 20% due to a lack of quality for exportation<sup>3</sup>, so for various reasons it would be highly interesting to develop new processing techniques for mango.

---

<sup>3</sup> Data obtained on 02/05/2001 from the site: <http://ww6.terra.com.br/ruralrbs/2001/01/29/001.htm>

## MATERIAL AND METHODS

### Material

**Raw material:** mangoes of the cultivar Tommy Atkins were used, harvested at full size were obtained from a local market (Campinas, Brazil).

**Dehydrating solution:** commercial sucrose syrup, 65°Brix.

**Oil:** deodorised palm oil, normally used in the production of chips (low level of unsaturation and thus less susceptible to oxidation).

### Determination of fruit cut – removal or otherwise of the skin, slice form and thickness

Trials were carried out to evaluate the variation of slice thickness, with and without the skin, with respect to oil absorption and moisture content of the final product.

The mangoes were first cut longitudinally into two halves close to the stone, and each half sliced transversally into 2mm and 3mm half moon slices using an electric slicer, with and without the skin. Approximately 400g of mango slices were then submitted to osmotic dehydration using a shaker with thermostatically controlled temperature, being placed in 2L conical flasks with pre-heated 65°Brix sucrose syrups (45°C) in the proportion of 1 part of fruit to 4 parts of syrup, shaking for 2 hours at 45°C and 200rpm.

The fruits were then rinsed to remove superficial syrup, dried manually with absorbent paper and then fried at 160°C in the proportion of 1:40 (fruit:oil – 250g fruit to 10kg oil), the end of the process being determined by the return to the initial temperature of 160°C. The excess oil was then removed using absorbent paper and the chips sealed into polyethylene bags and frozen until analysed. The moisture and oil contents were determined in the samples.

## **Study of the pre-treatment – osmotic dehydration at atmospheric pressure (OD) and under vacuum (ODV)**

Trials were carried out with osmotic dehydration both under vacuum and at atmospheric pressure in order to compare these two processes with respect to weight reduction, water loss and solute gain. The mangoes were sliced into 3mm slices with the skin. The trials were carried out for 1 and 2 hours at a temperature of 40°C for both types of process. The following equipment were used:

**Process at atmospheric pressure:** thermostatically controlled shaker (ratio of fruit:syrup of 1:4 (fruit: syrup), 200rpm).

**Process under vacuum:** a pilot scale vacuum osmotic dehydration equipment was used at Department of Food Technology – UNICAMP (University of Campinas) that consist of a vacuum pump, with natural circulation of the syrup. The slices were placed in a glass jar, which was connected to the equipment and the pre-heated syrup fed in at a temperature of 40°C. The pressure inside was kept at approximately 26 inHg. The ratio of fruit:syrup was 1:2 (QUERIDO, 2000).

The material was weighed before and after the process to calculate the percent of weight reduction, and the moisture content determined to calculate water loss and solute gain, according to the following formulae (MAVROUDIS, GEKAS and SJÖHOLM, 1998):

- **Weight reduction:**  $WR (\%) = (m_i - m_f)/m_i \times 100$  (1)

- **Solute gain:**  $SG (\%) = (ST_f - ST_i)/m_i \times 100$  (2)

- **Water loss:**  $WL (\%) = WR + SG$  (3)

Where:

$ST_i$  = initial total solids (g),  $ST_f$  = final total solids (g),  $m_i$  = initial mass (g),  $m_f$  = final mass (g)

## **Comparison of the pre-treatments of osmotic dehydration at atmospheric pressure and under vacuum, with respect to chip quality**

*Chips* were fried from slices osmotically dehydrated by both processes (OD and ODV) to verify the influence of the pre-treatment on the characteristics of the final product. The osmotic dehydration trials were carried out for time periods of 1h and 20 min and for 2h, all at 40°C. The frying trials were carried out according to procedure above described. The following analyses were carried out: moisture and oil contents, colour parameters of L\* (luminosity), a\* (red) and b\* (yellow) and a sensory preference test (only for chips pre-dehydrated for 2h).

Physicochemical determinations of the raw material, the pre-dehydrated slices and the chips:

- **Total solids and moisture content:** method n°. 934.06 AOAC (1997), involving vacuum oven drying at 70°C to constant weight. The values obtained for total solids and moisture content were used in the calculations of water loss and solute gain (formulae 2 and 3).
- **Ascorbic acid (vitamin C):** method n°. 967.21 AOAC (1997), as modified by BENASSI (1990), substituting the extracting solvent of metaphosphoric acid by oxalic acid.
- **Total lipids (oil content):** as described by Bligh and Dyer (1959).

**Determination of the colour parameters:** the CIELab system (MINOLTA CAMERA Co., 1993) was used, reading the parameters for L\* (luminosity), a\* (+a\* red, -a\* green) and b\* (+b\* yellow, -b\* blue) using a Hunter Lab. Spectrophotometer calibrated for RSIN with illuminant D<sub>65</sub> and a detection angle of 10°.

**Sensory analysis:** paired preference test (MEILGAARD, CIVILLE and CARR, 1999), consulting 36 panellists, 24 being women and 12 men, with ages between 19 and 55.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Determination of fruit cut

The results shown in Table 1 indicate that the chips with lower moisture content, resulting in crispier products, are obtained from 2mm slices with and without skin or 3mm slices with skin.

**Table 1:** Moisture contents of the osmotically dehydrated mango slices (with and without skin) and corresponding chips, and oil contents of the chips.

Product	Moisture content of dehydrated slices (%)	Moisture content of chips (%)	Oil content of chips (w.b.) (%)
2mm without skin	58.9 ± 0.1	3.5 ± 0.3 <b>c</b>	21.7 ± 0.3 <b>a</b>
2mm with skin	55.6 ± 0.1	1.9 ± 0.1 <b>d</b>	17.2 ± 0.2 <b>b</b>
3mm without skin	56.1 ± 0.2	7.5 ± 0.5 <b>a</b>	16.9 ± 0.5 <b>b,c</b>
3mm with skin	56.9 ± 0.1	4.3 ± 0.2 <b>b</b>	16.3 ± 0.1 <b>c</b>

Means within a column with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ )

The 2mm chips without skin showed greater oil content, this being undesirable, since the aim is to incorporate a minimum of oil into the product. The 2mm chips were difficult to handle after the osmotic dehydration step, due to the weight loss occurring during the process, resulting in very thin slices and consequently greater losses of material. Thus the 3mm chips with skin was defined for the remaining trials.

## Study of the pre-treatment – osmotic dehydration at atmospheric pressure and under vacuum

The results (Table 2) showed that the two processes produced similar values for weight reduction and water losses. However, solute gain was significantly ( $P < 0.05$ ) much greater at atmospheric pressure.

**Table 2:** Weight reduction (WR%), solute gain (SG%) and water loss (WL%) of the slices pre-osmotically dehydrated under vacuum and at atmospheric pressure.

Process	WR (%)	SG (%)	WL (%)
Vacuum 1 h	40.8	1.9	42.7
Atmospheric 1h	43.1	4.1	47.2
Vacuum 2 h	50.0	3.8	53.8
Atmospheric 2h	46.2	6.5	52.7

From the process point of view for the dehydration phenomenon, osmotic dehydration under vacuum was shown to be more adequate, since it resulted in less solute uptake. However, it must be remembered that the osmotic dehydration was only an intermediary process, and thus the quality of the final product should be evaluated in order to choose the best pre-treatment.

The vacuum effects at the higher mass transfer (water losses and solute gain) has been observed by many authors (BOHUON and RAOULT-WACK, 2002). Since the process conditions for the atmospheric and reduced pressure were not the same (agitation forced and natural circulation, ratio of fruit:syrup 1:4 and 1:2, for atmospheric pressure and vacuum respectively), there is no sense in compare the effects of the pressure on the mass transfer in the present work. It seems that the solute gain was more influenced by the forced agitation in the process carried out at atmospheric pressure that by the vacuum application.

### Comparison of the pre-treatments of osmotic dehydration at atmospheric pressure and under vacuum with respect to the quality of the chips produced

The results shown in Tables 3, 4 and 5 indicated that in almost all the analyses, pre-osmotic dehydration at atmospheric pressure resulted in better quality chips, with lower moisture contents (process for 2h), no significant differences for oil uptake (comparing the 2 processes for 1h and 20 min) and vitamin C contents (comparing the 2 processes for 2h), higher values for the colour parameters of L\* and b\*, indicating lighter, more intensely yellow chips. The values for a\* (red) were higher for the chips pre-dehydrated under vacuum, for both processing times ( $P<0.05$ ).

**Table 3:** Total solids, moisture, oil and vitamin C contents of chips pre-osmotically dehydrated under vacuum and at atmospheric pressure.

OD Pre treatment	Total solids (%)	Moisture (%)	Oil (% w.b.*)	Vitamin C (mg/100g)
Vacuum 1h20min 40°C	80.7 ± 0.1 <b>d</b>	19.3 ± 0.1 <b>a</b>	11.3 ± 0.0 <b>b</b>	
Atmospheric 1h20min 40°C	85.8 ± 0.2 <b>c</b>	14.2 ± 0.2 <b>b</b>	11.1 ± 0.0 <b>b</b>	
Vacuum 2h 40°C	89.2 ± 0.0 <b>b</b>	10.8 ± 0.0 <b>c</b>	10.7 ± 0.2 <b>c</b>	30.7 ± 1.7 <b>a</b>
Atmospheric 2h 40°C	92.4 ± 0.3 <b>a</b>	7.6 ± 0.3 <b>d</b>	13.4 ± 0.1 <b>a</b>	33.9 ± 2.1 <b>a</b>

Means within a column with different letters are significantly different ( $p<0.05$ )

\*oil and vitamin C contents expressed in wet weight basis

Typical values for vitamin C in this variety of raw mango (with skin) found in this work are approx. 14mg 100g<sup>-1</sup>

**Table 4:** The colour parameters L\*, a\* and b\* for the chips pre-osmotically dehydrated under vacuum and at atmospheric pressure.

Process	L*	a*	b*
Vacuum 1h20min 40°C	51.41 ± 0.26 <b>d</b>	9.45 ± 0.51 <b>a</b>	25.17 ± 1.37 <b>c</b>
Atmospheric 1h20min 40°C	57.71 ± 0.26 <b>b</b>	7.94 ± 0.18 <b>b</b>	32.52 ± 0.16 <b>a</b>
Vacuum 2h 40°C	54.14 ± 0.57 <b>c</b>	9.90 ± 0.18 <b>a</b>	27.42 ± 0.37 <b>b</b>
Atmospheric 2h 40°C	60.81 ± 0.46 <b>a</b>	7.95 ± 0.17 <b>b</b>	33.61 ± 0.62 <b>a</b>

Means within a column with different letters are significantly different (p< 0.05)

In the paired preference test, considering 36 panellists, for a sample to be considered more preferred at the 5% level of significance, it must be more preferred by at least 25 panellists (MEILGAARD, CIVILLE and CARR, 1999). The chips pre-dehydrated at atmospheric pressure were significantly more preferred (p≤0.05) with respect to all the attributes except aroma, in which case the preference was not significant (Table 5).

One possible explanation for this is the effect of sucrose incorporation, acting as a protection for the fibres and impeding darkening during the frying stage, an effect also considered positive with respect to the increased flow of water out of the tissue, resulting in a lighter coloured, more dehydrated chip, reflected in the greater sensory preference shown for this product.

**Table 5:** Paired preference test for the chips pre-osmotically dehydrated under vacuum and at atmospheric pressure (2h, 40°C).

Attributes	N° positive results for preference of OD chips	N° responses of equivalent preference	N° positive results for preference of ODV chips
Overall appearance	32	2	2
Colour	28	2	6
Aroma	23	2	11
Flavour	26	-	10
Texture (crispness)	32	-	4
Overall preference	34	-	2

## CONCLUSIONS

The trials carried out showed that 3mm was a more adequate thickness for the mango slices, without removal of the skin, since this condition showed a satisfactory water loss together with low oil uptake in the frying process.

With respect to the osmotic dehydration pre-treatment, the greater solute gain obtained in the process carried out at atmospheric pressure conferred better quality characteristics on the chips, such as a lower moisture content, greater luminosity and sensory preference with respect to almost all the attributes. Further studies are under way to optimise the frying process with respect to the parameters of time and temperature, and their effect on the quality of the mango chips.

## LITERATURE CITED

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.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th. ed. Gaithersburg: AOAC, 1997.

BENASSI, M. T. **Análise dos efeitos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. 1990. 159 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

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., 2000. p. 405-428.

CONTRERAS, J. E.; SMYRL, T. G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 14, n. 4, p. 310-314, 1981.

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**, v. 79, p. 291-299, 1999.

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**, v. 20, p. 87-104. 1996.

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

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples, shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 101-123, 1998.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3 ed. Boca Raton: CRC, 1999. 387 p.

MINOLTA CAMERA CO, LTD. **Precise colour communication: colour control from feeling to instrumentation**. Osaka, 1993. 49 p.

PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits - Recent modifications and applications. **Process Biochemistry**, v. 8, p. 18-20, 1973.

QUERIDO, A. F. **Otimização e comparação dos processos de desidratação osmótica a vácuo e a pressão ambiente de pseudofruto de caju (*Anacardium occidentale* L)**. 2000. 113 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

RAOULT-WACK, A. L.; GUILBERT, S.; LEMAGUER, 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**, v. 9, p. 589-612, 1991.

REYNES, M.; AYMARD, C.; AW, B. Production de chips d'ananas par le procédé combiné deshydratation osmotique-friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 139-150, 1997.

SAUREL , R.; RAOULT-WACK, A. L.; RIOS, G.; GUILBERT, S. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I. Fresh plant tissue. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 29, p. 531-542, 1994.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, v. 28, p. 445-454, 1995.

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.

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

TRELEA, I. C.; TRYSTAM, G.; COURTOIS, F.; RAOULT-WACK, A. L.; DIAZ, A. Modelisation et commande des procédés de friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 77-82, 1997.

VARELA, G. Current facts about the frying of foods. In: VARELA, G.; BENDER, A. E.;

MORTON, I. D. **Frying of foods: principles, changes, new approaches.** Chichester: VCH, 1985. p. 9-25.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A. L. Produits frits a base de manioc en Colombie: aptitude clonale et relation procédé/qualité. **Récents progrès en génie des procédés. La friture – maîtrise du procédé et de la qualité des produits,** Montpellier, v. 11, n. 59, p. 113-120, 1997.

**CAPÍTULO 4:**  
**OSMOTIC DEHYDRATION OF MANGO: EFFECTS OF TEMPERATURE AND  
TIME PROCESS<sup>4</sup>**

**SUMMARY**

Water loss (WL%), weight reduction (WR%) and solute (sugar) gain (SG%) were evaluated in osmotic dehydration of mango (Tommy Atkins cultivar) slices, used as a pre-treatment to a further chips production by deep fat frying process. In this case, water loss and solute uptake are desirable for the final product quality, because reduction of the initial moisture content and the presence of sugar minimizes the residence time and oil incorporation during the frying process. The process variables studied were time (40-120 minutes) and temperature (30-50°C), using a central composite design. The temperature and time process affected significantly the mass transfer phenomena in the osmotic dehydration studied. The adjusted models presented significant regression ( $p < 0.01$ ) with correlation coefficients  $R^2$  of 0.81, 0.89 and 0.93 for WR, WL and SG, respectively.

**Keywords:** osmotic dehydration, surface response design methodology, mango, water loss, solute gain.

---

<sup>4</sup> Artigo publicado nos Proceedings do 14th International Drying Symposium.

## DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MANGA: EFEITOS DA TEMPERATURA E TEMPO DE PROCESSO

### RESUMO

As porcentagens de perda de umidade (PU), perda de peso (PP) e ganho de soluto (açúcar) (GS) foram avaliadas na desidratação osmótica de fatias de manga (cultivar Tommy Atkins), usada como pré tratamento à fritura para produção de *chips*. Neste caso, perda de água e ganho de sólidos são desejáveis para a qualidade do produto final, pois a redução da umidade inicial e a presença de açúcar minimizam o tempo de residência e a incorporação de óleo durante o processo de fritura. As variáveis do processo estudadas foram tempo (40-120 minutos) e temperatura (30-50°C), usando um planejamento composto central. A temperatura e o tempo de processo tiveram efeitos significativos nos fenômenos de transferência de massa da desidratação osmótica estudada. Os modelos ajustados apresentaram regressão significativa ( $p < 0,01$ ) com coeficientes de correlação  $R^2$  de 0,81, 0,89 e 0,93 para PP, PU e SG, respectivamente.

**Palavras-chave:** desidratação osmótica, Metodologia de Superfície de Resposta, manga, perda de água, ganho de soluto.

## INTRODUCTION

Osmotic dehydration (OD) is an important process used in the food industry and in the last few years a lot of scientific studies about processing fruits and vegetables (TORREGGIANI, 1993; LAZARIDES, KATSANIDIS and NICKOLAIDIS, 1995; SACCHETTI, GIANOTTI and DALLA ROSA, 2001; TORREGIANI and BERTOLO, 2001; GIRALDO *et al.*, 2003; TELIS, MURARI and YAMASHITA, 2004), meat and fish (BOHUON *et al.*, 1998; COLLINGNAN *et al.*, 2001; VIVANCO, HUBINGER and SOBRAL, 2004) were developed. The process was initially proposed by Ponting *et al.* (1966), and defined more recently by Raoult-Wack *et al.* (1991) as “Dewatering Impregnation Soaking” in concentrated solutions (DIS). It consists of the immersion of the product in a concentrated solution (i.e. sugar, salt, sorbitol, glycerol), generating a partially dehydrated and impregnated product.

Three simultaneous mass transfer phenomena occur: an important water flow from the product to the solution; a solute transfer from the solution to the product; and a minor transfer of the product’s own solutes (sugars, organic acids, minerals and vitamins) to the concentrated solution (RAOULT-WACK, 1994).

OD rates depend on several variables such as type of material (maturity state, shape, size) and pre-treatments (blanching, etc), as well as process conditions, as solution composition and concentration, solution/product ratio, temperature and immersion time (BOHUON and RAOULT-WACK, 2002).

The process results in products of intermediate moisture contents (20-50%), being normally used as a pre-treatment to further processing, such as air drying, freezing, freeze drying, pasteurization, canning, addition of preservative agents and deep fat frying. The two most important advantages for its use as pre-treatment in a complementary process are: quality improvement and energy saving (RAOULT-WACK, 1994).

Using the response surface design methodology, the aims of this work was to study the effects of temperature and time processing over the weight reduction, water loss and

solute gain in the mango osmotic dehydration treatment, applied as a previous step of a deep fat frying chips production.

## MATERIAL AND METHODS

### Sample preparation

Mango (*Mangifera indica* L., cv Tommy Atkins) was obtained from a local market (São Paulo state- Brazil), at ripeness stage between mature green and half ripe (moisture content of 82.7g/100g fresh material; soluble solids of 9.7°Brix; pH of 3.9; titratable acidity of 0.61g citric acid/100g fresh material). The mangoes were first cut longitudinally into two halves close to the stone, and each half was sliced transversally into 3mm half moon slices using an electric slicer, without the skin peeling.

### Osmotic dehydration

The trials were carried out in a thermostatically controlled shaker, placing approximately 400g of mango slices in 2L conical flasks containing pre-heated 65% sucrose solution, by a ratio of 1:4 (w/w) fruit/solution and 200 rpm agitation. Then, the fruits were rinsed to remove superficial syrup and dried manually with an absorbent paper. The material was weighed before and after the process to calculate the percentage of weight reduction (WR), and the moisture content determined to calculate water loss (WL) and solute gain (SG), according to the following formulae (MAVROUDIS, GEKAS and SJÖHOLM, 1998):

$$\text{WR (\%)} = (w_i - w_f)/w_i \times 100 \quad (1)$$

$$\text{SG (\%)} = (ws_f - ws_i)/w_i \times 100 \quad (2)$$

$$\text{WL (\%)} = \text{SG} + \text{WR} \quad (3)$$

where  $w_i$  = initial weight of the sample (g),  $w_f$  = final weight of the sample (g),  $ws_i$  = initial total solids content (g),  $ws_f$  = final total solids content (g).

Total solids content (moisture content) was determined by drying the samples to a constant weight in a vacuum oven at 70°C.

### Experimental design and statistical analysis

A central composite design composed of two factors or independent variables (temperature and time) at five levels was used to observe the effects of individual and/or variable interactions over the water loss, weight reduction, solute gain in the osmotic treatment (Table 1). A total of 8 different level combinations were generated for the two independent variables, with 4 repetitions for the central level. It was used a second degree polynomial model for describe the response variables:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (4)$$

Where  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  represent linear regression coefficients;  $b_{12}$ ,  $b_{11}$ ,  $b_{22}$  cross product and quadratic regression coefficients;  $x_1$ ,  $x_2$  coded values of temperature and time process, respectively.

The statistical analysis was performed using the software STATISTICA for Windows. The evaluation of the global fitting was checked by the determination coefficient  $R^2$  (explained variability percentage) and the  $p$ -values (error probabilities). Response surfaces were generated using a final model (decoded values of independent variables) considering only the influence of significant factors at a confidence level > 95%. **Table 1:** Second-order composite design

Variable	Levels				
Coded value	-1.41	-1	0	1	1.41
Temperature (°C)	30	33	40	47	50
Time (minutes)	40	52	80	108	120

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of weight reduction, water loss and solute gain for the 12 trials generated by the central composite design are shown on Table 2. Using the results of WR, WL and SG, the polynomial models were generated and analyses of variance were calculated for each one. Table 3 shows the effects, regression coefficients and statistical significance of the models.

**Table 2:** Results of weight reduction (WR), water loss (WL), solute gain (SG) and total solids (*ws*) for mango slices at different conditions.

Trials	WR (%)	WL (%)	SG (%)	<i>ws</i> (g/100g)
1 (33°C/52min)	41.83	46.96	5.13	34.20 ± 0.24
2 (33°C/108min)	46.02	52.82	6.80	39.95 ± 0.07
3 (47°C/52min)	42.97	48.89	5.92	36.26 ± 0.07
4 (47°C/108min)	46.42	54.38	7.96	42.41 ± 0.05
5 (30°C/80min)	44.32	50.44	6.12	34.03 ± 0.08
6 (50°C/80min)	51.12	59.34	8.21	43.06 ± 0.23
7 (40°C/40min)	38.82	42.93	4.11	30.85 ± 0.11
8 (40°C/120min)	47.37	55.37	8.00	43.25 ± 0.18
9 (40°C/80min)	44.73	51.34	6.61	38.68 ± 0.03
10 (40°C/80min)	43.13	49.61	6.48	37.36 ± 0.07
11 (40°C/80min)	44.46	51.34	6.88	38.97 ± 0.02
12 (40°C/80min)	44.56	51.03	6.47	38.31 ± 0.28

**Table 3:** Effects, regression coefficients and analyses of variance for WR, WL and SG models

Response	Factors	Effects	Regressionco	Stander	p	R <sup>2</sup>	F	
							Model	Lack
WR	$b_0$	43.5518	43.5518	0.2857	0.0000	0.8100	11.3693*	n.s.**
	Linear							
	$b_1$	2.7905	1.3952	0.2608	0.0128			
	$b_2$	4.9336	2.4668	0.2608	0.0025			
	Quadratic							
	$b_{11}$	3.2837	1.6419	0.2857	0.0105			
	$b_{22}$	n.s.	n.s.					
	Interaction							
	$b_{12}$	n.s.	n.s.					
WL	$b_0$	50.8341	50.8341	0.4140	0.0000	0.8929	14.5941*	n.s.**
	Linear							
	$b_1$	4.0170	2.0085	0.2927	0.0063			
	$b_2$	7.2346	3.6173	0.2927	0.0011			
	Quadratic							
	$b_{11}$	3.4242	1.7121	0.3273	0.0136			
	$b_{22}$	-2.3108	-1.1554	0.3273	0.0386			
	Interaction							
	$b_{12}$	n.s.	n.s.					
SG	$b_0$	6.8034	6.8034	0.0734	0.0000	0.9304	35.6327*	n.s.**
	Linear							
	$b_1$	1.2266	0.6133	0.0670	0.0028			
	$b_2$	2.3011	1.1505	0.0670	0.0004			
	Quadratic							
	$b_{11}$	n.s.	n.s.					
	$b_{22}$	-0.7333	-0.3668	0.0734	0.0154			
	Interaction							
	$b_{12}$	n.s.	n.s.					

\* regression significant a  $p < 0.01$ ; \*\* lack of fit non significant a  $p < 0.01$

Table 3 shows that the quadratic time and interaction effects are not significant over the weight reduction response. Weight reduction is affected positively by temperature and time process since all the parameters are positive, showing that their increase causes weight reduction improvement.

For the water loss phenomena, besides the interaction between the temperature and time factors, all the linear and quadratic parameters presented statistical significance. Only the quadratic time parameter affected negatively the solute gain at the levels observed. The increase of linear and quadratic temperature, as well as linear time led to a higher value of product water loss.

In the case of solute gain, the polynomial model presented the positive values for linear parameters of temperature and time, while the quadratic time affected negatively this mass transfer.

In both cases of mass transfer phenomena, water loss and solute gain, the quadratic increase of time process led to a decrease of their values. Under typical operating conditions used for fruit and vegetables (30-50°C, atmospheric pressure), mass transfer mainly occurs during the first two hours; then mass transfer rates become progressively slower until water loss stops, whereas solute gain continues to increase steadily (RAOULT-WACK, 1994).

The temperature affected positively the water loss and the solute gain as well. The rate of mass exchange increases with temperature, and temperatures above 60°C modify the tissue characteristics favoring impregnation phenomena (TORREGGIANI, 1993).

For all models (WR, WL and SG) interaction of time and temperature factors had no significant effect during the OD.

All the models presented a significant regression ( $p < 0.01$ ), with  $R^2$  values above 0.80. The models presented not significant ( $p < 0.01$ ) lack of fit, indicating that the experimental data were adjusted to the models.

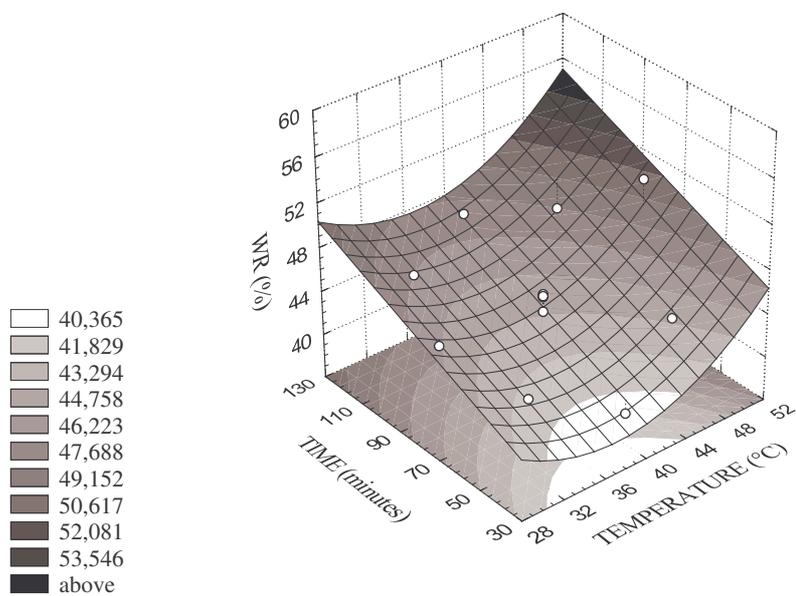
In application of osmotic dehydration as a pre step to a deep fat frying, the two mass transfer phenomena have an important role. The water loss decrease the initial moisture content of the raw material, leading to a lower residence time in the frying operation, minimizing the product damage (darkness, loss of flavor compounds and vitamins) caused by high oil temperatures.

Regarding solute uptake, Moyano and Berna (2002) observed that, soaking potato strips in a solution of sucrose-NaCl-water (20-5-75%) before air drying and deep fat frying in sunflower oil at 160, 170 and 180°C, led to a lower oil uptake when compared to a control treatment, where strips were not soaked but air dried. The solute impregnation provided a decrease in oil uptake by the product, which can be explained by a crust formation due to the concentration of solutes on the surface during the frying operation. These crust might be permeable to steam leaving the tissue but it might act as a barrier to oil uptake as well. Similar effects of lower oil uptake in a osmotic dehydration pre-treatment previous to french fries frying were observed by Krokida *et al.* (2001).

A previous study with deep-fat fried mango chips, pre-treated with osmotic dehydration, the greater solute gain obtained at atmospheric pressure allows better quality characteristics of the chips, such as lower moisture content, greater luminosity and sensory preference. So, the solute uptake caused a desirable effect in this kind of combined process (TOREZAN *et al.*, 2004).

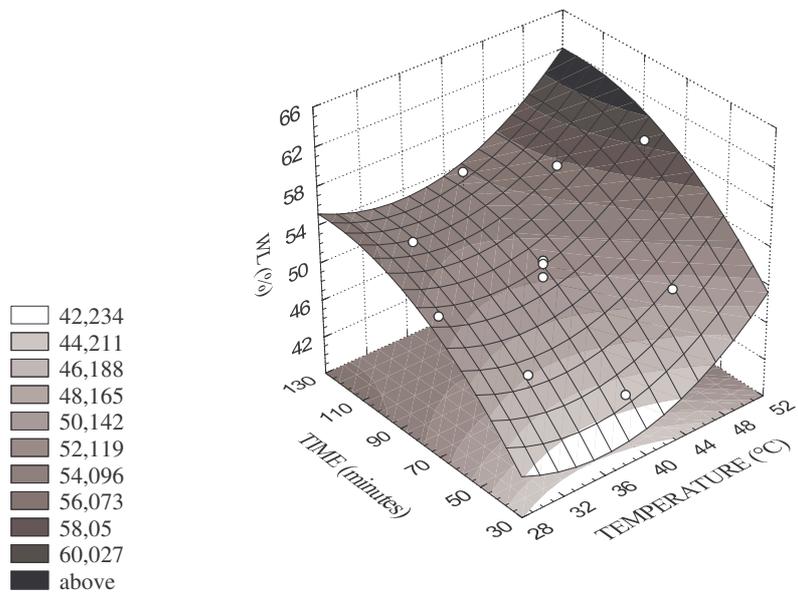
The models using decoded values of time and temperature were used to generate response surfaces which easier show the effect of temperature and time over the weight reduction, water loss and solute gain (Figures 1, 2 and 3).

The figures show that was not possible to obtain maximum values of WR, WL and SG at the levels studied in this work. In these experiments, the higher values of WR, WL and SG were obtained by temperature and time above 45°C and 110 minutes, respectively.



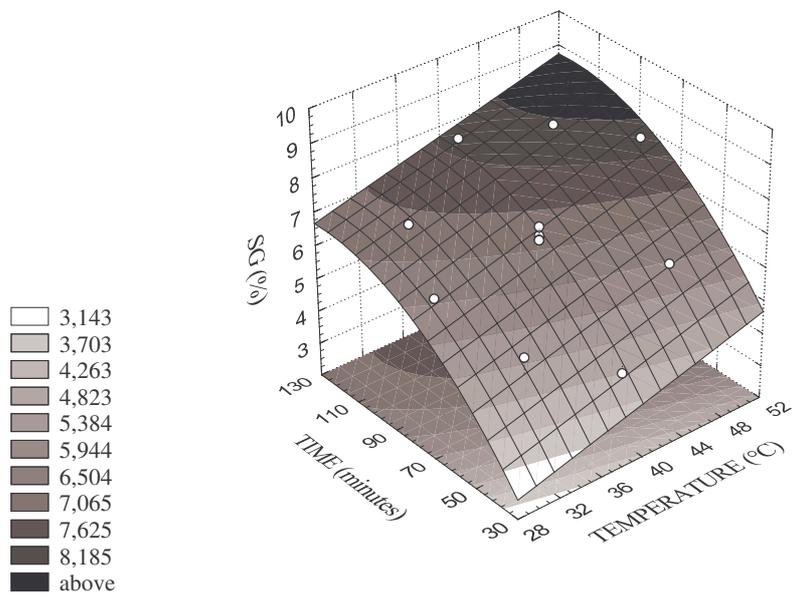
$$WR \% = 81,2281 - 2,4300x_1 + 0,0872x_2 + 0,0328x_1^2$$

**Figure 1:** Weight reduction of mango slices as function of the temperature and time osmotic dehydration process



$$WL \% = 74,7902 - 2,4556x_1 + 0,3589x_2 + 0,0342 x_1^2 - 0,0014 x_2^2$$

**Figure 2:** Water loss of mango slices as function of the temperature and time osmotic dehydration process



$$SG \% = -2,8550 + 0,0867x_1 + 0,1140x_2 - 0,0005x_2^2$$

**Figure 3:** Solid gain by mango slices as function of the temperature and time osmotic dehydration process

## CONCLUSIONS

The temperature and time process affected the mass transfer phenomena in the osmotic dehydration studied. The adjusted models presented significant regression ( $p < 0.01$ ) with correlation coefficients  $R^2$  of 0.81, 0.89 and 0.93 for WR, WL and SG, respectively.

In order to obtain high quality products from combined process of osmotic dehydration-deep fat frying, it is necessary to study both process together, to achieve optimum conditions of the OD parameters process that bring satisfactory water loss and solute uptake to improve the further deep fat frying process.

## REFERENCES

BOHUON, P.; COLLIGNAN, A., RIOS, G. M., RAOULT-WACK, A. L. Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. **Journal of Food Engineering**, v. 37, p. 451-469, 1998.

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.

COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 153-162, 2001.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution

concentration on kinetics and yield osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 33-43, 2003.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during osmotic pre concentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Science**, v. 25, p. 151-166, 1995.

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.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples, shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 101-123, 1998.

MEDINA VIVANCO, M. L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

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

PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20, p. 125-128, 1966.

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**, v. 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, p. 255-260, 1994.

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.

TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 253-259, 2004.

TOREZAN, G. A. P.; FAVARETO, P. C.; PALLET, D.; MENEZES, H. C.; REYNES, M. Use of a combined process of osmotic dehydration and deep-fat frying to obtain mango chips from the cultivar Tommy Atkins. **Acta Horticulturae**. (ISHS) 645: VII International Mango Symposium, p. 285-291, 2004.

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.

VIVANCO, P. D.; HUBINGER, M. D.; SOBRAL, P. J. A. Mass transfer in osmotic dehydration of Atlantic Bonito (*Sarda sarda*) fillets under vacuum and atmospheric pressure. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, Sao Paulo. **Proceedings...**, v. C, p. 2105-2112.



**CAPÍTULO 5:**  
**EFEITO DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA  
COMO PRÉ TRATAMENTO À FRITURA NAS CARACTERÍSTICAS DE *CHIPS*  
DE MANGA<sup>5</sup>**

**RESUMO**

Diferentes condições de desidratação osmótica (tempo, uso de banhos sucessivos com concentração crescente de solução osmótica) foram testadas como pré tratamento à fritura de manga para produção de *chips*, sendo avaliados os efeitos no teor final de sólidos totais, de lipídeos, nos parâmetros de cor, na textura (fraturabilidade instrumental) e na aceitação sensorial do produto. O uso de banhos sucessivos em solução osmótica não se mostrou vantajoso quanto aos resultados na qualidade do produto final, uma vez que os teores de sólidos totais e de lipídeos não apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação àqueles obtidos para os *chips* pré processados através de um único banho de solução osmótica (65°Brix, 120 minutos). Os *chips* obtidos pelos pré tratamentos estudados não apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os atributos aparência, cor, aroma e sabor, enquanto que a aceitação da textura e a intenção de compra foram maiores para os *chips* pré processados em um único banho de solução osmótica. Os resultados indicaram que a imersão em banhos sucessivos de solução osmótica com não influenciou positivamente a qualidade dos *chips* de manga.

**Palavras-chave:** desidratação osmótica, impregnação, manga, fritura, textura

---

<sup>5</sup> Publicado na forma de 2 resumos expandidos no XIX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia – CBCTA, Recife, 2004.

## SUMMARY

Different conditions for osmotic dehydration (OD) (time, use of consecutive baths with increasing osmotic solution concentration) were tested as pre treatments for the deep fat frying of mango chips and the effects on total solids content, oil content, color parameters, texture (breaking force) and sensory acceptance of the final product were evaluated. The conditions studied were: 65°Brix for 80 minutes; 65°Brix, 120 minutes; 35°, 45°, 65°Brix sucrose solution, for 40 minutes each; 35°, 65°Brix sucrose solution, for 60 minutes each. The use of successive baths showed no advantages with respect to the mango chips quality, since the total solids and oil contents presented no significant differences as compared to the chips obtained by the pre process carried out in a single bath (65°Brix, 120 minutes) and lower luminosity (L parameter). The chips obtained by all OD pre treatments studied presented no significant differences ( $p < 0.05$ ) for appearance, colour, flavour and taste attributes. The texture acceptance and purchase intent were greater for the chips pre processed in a single bath, showing no advantages for the use of consecutive baths to improve the quality of the mango chips.

**Keywords:** osmotic dehydration, impregnation, mango, deep fat frying, texture.

## INTRODUÇÃO

A aplicação de desidratação osmótica como pré tratamento à fritura, com o intuito de aumentar o teor de sólidos totais da fruta, através da redução do teor de umidade inicial e da incorporação de sólidos da solução osmótica, tem-se mostrado bastante vantajosa para garantir a qualidade do produto final, principalmente quanto à absorção de óleo (REYNES, AYMARD e AW, 1997; KROKIDA *et al.*, 2001; MOYANO e BERNA, 2002).

O processo de desidratação osmótica consiste na imersão de pedaços de alimentos, como frutas e vegetais, em uma solução concentrada (como açúcares, sais e polióis, como sorbitol e glicerol) (TORREGGIANI, 1993; LAZARIDES, KATSANIDIS e NICKOLAIDIS, 1995; SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA, 2001; TORREGIANI e BERTOLO, 2001; GIRALDO *et al.*, 2003; TELIS, MURARI e YAMASHITA, 2004). O processo causa dois principais fluxos contrários e simultâneos: saída de água do alimento para a solução e uma simultânea, mas menor, transferência do soluto da solução para o alimento (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990; SAUREL *et al.*, 1994, TORREGIANI, 1993), gerando um produto parcialmente desidratado e impregnado (RAOULT-WACK *et al.*, 1991). Ocorre ainda a saída de solutos do próprio alimento para a solução, como açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, que apesar de ser quantitativamente desprezível em comparação com os outros fluxos, é de grande importância para a composição do produto final (LERICI *et al.*, 1985; TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994; SAUREL *et al.*, 1994). O processo se estabiliza quando o potencial químico entre a solução osmótica e a célula atinge o equilíbrio, ou seja, quando ambos apresentam a mesma concentração em soluto (DALLA ROSA e GIROUX, 2001).

Tanto a concentração da solução osmótica como a natureza dos solutos influenciam a extensão e a razão da remoção de água e a impregnação (SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA, 2001).

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 do que o ganho de sólidos (ISLAM e FLINK, 1982; LENART e FLINK, 1984).

Raoult-Wack *et al.* (1991), em estudo com um alimento modelo (gel de ágar), tratado em várias concentrações de solução de sacarose, verificou que em diferenças de concentração menores que 40%, ocorre predominantemente o fenômeno de impregnação, com ganho de soluto maior que a perda de água; para diferenças de concentração acima de 40%, a desidratação é favorecida. Assim, uma grande faixa de aplicações pode ser conseguida através da escolha da concentração da solução, caracterizada por várias razões de perda de água e ganho de soluto.

O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes condições de desidratação osmótica como pré tratamento à fritura para obtenção de *chips*, a fim de se promover a incorporação de sólidos pela manga e avaliar os efeitos nos teores de sólidos totais, de lipídeos, nos parâmetros de cor instrumental e na aceitação sensorial.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

A matéria-prima, manga da cultivar Tommy Atkins, no estado de maturação “de vez”, foi obtida no Ceasa de Campinas, SP. As frutas foram cortadas longitudinalmente em duas metades rentes ao caroço, e cada metade fatiada transversalmente em cortador elétrico na espessura de 3mm, mantendo-se a casca.

Como agente osmótico foi utilizada sacarose comercial e para o processo de fritura óleo de palma refinado (Grupo Agropalma), com a composição nos principais ácidos graxos sendo: 44% ácido oleico (C18:1), 38% ácido palmítico (C16:0), 10% ácido linoleico (C18:2) e 4,5% ácido esteárico (C18:1).

## **Desidratação osmótica**

Foram realizados diferentes processos de desidratação osmótica como pré tratamento à fritura, a fim de se verificar o efeito nas características finais dos *chips* de manga, sendo eles:

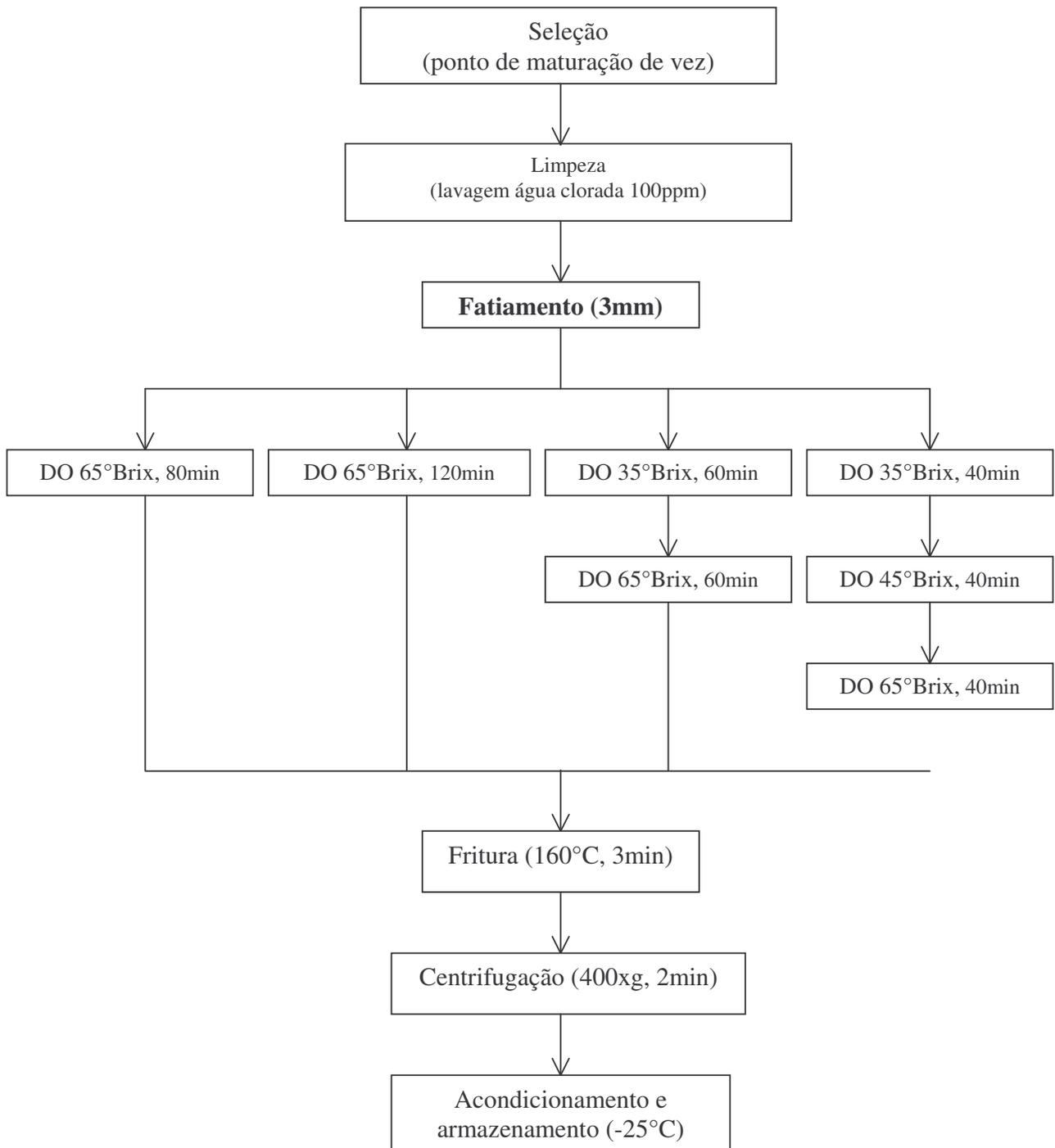
- 1) **solução de sacarose 65°Brix, com tempo de processo de 1 hora e 20 minutos;**
- 2) solução de sacarose 65°Brix, com tempo de processo de 2 horas;
- 3) banhos consecutivos de 35, 45 e 65°Brix, com tempo de 40 minutos em cada banho
- 4) banhos consecutivos de 35 e 65°Brix, com tempo de 1 hora em cada banho;

A desidratação osmótica das fatias de manga para todos os ensaios foi realizada em um equipamento tipo *shaker* (modelo MA830, MARCONI, Brasil), à temperatura de 40°C, com agitação de 200 rpm e fixando a proporção de fruta e solução de sacarose a 65°Brix de 1:4 (p/p), ou seja, 400g de fatias de manga e 1600g de solução osmótica.. Ao final do processo as fatias foram enxaguadas para remoção de xarope da superfície, secas manualmente com papel absorvente seguindo-se à fritura. Os ensaios foram realizados em triplicata.

## **Fritura**

As fatias de manga previamente desidratadas foram submetidas ao processo de fritura em fritadeira elétrica (modelo F25, Croydon, Brasil) equipada com controlador de temperatura (tipo E5GN-Q1TC, Omron), à temperatura de 160°C por 3 minutos, utilizando a proporção de fruta e óleo de 1:40 (p/p), ou seja, 250g de manga desidratada osmoticamente e 10kg de óleo de palma refinado. O excesso de óleo foi retirado através de centrifugação (1800 rpm ou 400 xg) (centrífuga doméstica, Mueller Eletrodomésticos, Brasil). Os *chips* embalados em sacos de polietileno e armazenados a -18°C até serem

analisados. O fluxograma para obtenção dos *chips* está apresentado na Figura 1.



**Figura 1:** Processamento de *chips* de manga através do processo combinado de desidratação osmótica

## Determinações analíticas

### *Sólidos Totais*

Os teores de sólidos totais e umidade foram determinados através de secagem das amostras em estufa a vácuo a 70°C, até peso constante de acordo com método 934.06 da AOAC (1997). Utilizando-se os valores dos sólidos totais e do peso das amostras antes e após o processo de desidratação osmótica foram calculadas as porcentagens de perda de peso (PP), perda de umidade (PU) e a incorporação de sólidos (IS), de acordo com Mavroudis, Gekas e Sjöholm (1998):

$$PP (\%) = (m_i - m_f)/m_i \times 100 \quad (1)$$

$$IS (\%) = (ST_f \times ST_i)/m_i \times 100 \quad (2)$$

$$PU (\%) = PP + IS \quad (3)$$

Onde,  $ST_i$  = massa inicial de sólidos totais do material (g);  $ST_f$  = massa final de sólidos totais do material (g);  $m_i$  = massa inicial do material (g);  $m_f$  = massa final do material (g).

### *Lipídeos*

Os teores de lipídios totais, expressos em base úmida (g/100g material) e em base seca (g/100g sólidos) foram determinados de acordo com método descrito por Bligh e Dyer (1959), através da extração por clorofórmio e metanol.

### **Parâmetros de cor**

**A cor das amostras de *chips* foi analisada utilizando o sistema CIELab, através da leitura dos seguintes parâmetros:  $L^*$ , que representa a porcentagem de luminosidade, variando de preto (0 %) a branco (100 %);  $a^*$ , que varia de verde ( $-a^*$ ) a vermelho ( $+a^*$ ); e  $b^*$ , variando de azul ( $-b^*$ ) a amarelo ( $+b^*$ ). As análises foram conduzidas em espectrofotômetro (Colorquest II, Hunter Lab), utilizando calibração RSIN, iluminante  $D_{65}$**

e um ângulo de detecção de 10°.

As amostras foram trituradas e acondicionadas em placa de Petri recoberta com filme plástico de policloreto de vinila (pvc), e o espectrofotômetro calibrado com o mesmo filme.

### ***Textura instrumental***

Foi avaliada a fraturabilidade (g), através da medida força em compressão, determinado através do aparelho texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems), usando sonda (probe) com diâmetro de 1/4" (P/0.25S).

A análise foi baseada na metodologia para *tortilha chips* do banco de dados do equipamento. As condições estipuladas foram: velocidade pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade do teste de 1,0 mm/s, velocidade pós-teste de 10,0 mm/s, distância de penetração do êmbolo na amostra de 3,0 mm (modificada), força de contato de 5g e taxa de aquisição de 200pps (ponto por segundo). Os resultados são expressos pelo valor médio dos picos de força de 10 amostras, em gramas.

### **Análise sensorial**

Foi realizado teste afetivo (STONE e SIDEL, 1993), medindo a aceitabilidade das amostras de *chips* de manga obtidos por diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica seguida por fritura, dos atributos aparência, cor, aroma, sabor e textura, utilizando escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (desgostei extremamente) e superior 9 (gostei extremamente), e intenção de compra, utilizando escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (certamente não compraria) e superior 5 (certamente compraria).

Foram consultados 30 provadores e as amostras servidas em prato de plástico branco codificados com três algarismos, em cabines individuais sob luz branca. A ficha utilizada para a avaliação da aceitabilidade das amostras está apresentada na Figura 2.

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_  
E-mail: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_  
Amostra: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra codificada de CHIPS DE MANGA. Por favor, avalie o ATRIBUTO\* da amostra e indique na escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou do ATRIBUTO da amostra:

9. Gostei extremamente
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Nem gostei / nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei extremamente

Comente o que você mais gostou ou menos gostou no ATRIBUTO da amostra:

+ Gostou: \_\_\_\_\_  
- Gostou: \_\_\_\_\_

Com base na sua opinião sobre esta amostra de CHIPS DE MANGA, indique na escala abaixo sua atitude se você encontrasse esta amostra à venda. Se eu encontrasse este CHIPS DE MANGA à venda eu:

5. Certamente compraria
4. Possivelmente compraria
3. Talvez comprasse / talvez não comprasse
2. Possivelmente não compraria
1. Certamente não compraria

Muito obrigada por sua colaboração

**Figura 2:** Ficha sensorial aplicada no teste de aceitação dos *chips*. \*atributos: aparência, cor, aroma, sabor, textura.

### **Análise estatística**

Foi realizada análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos e diferenças entre as médias verificadas através do teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança, utilizando o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, versão 8.0).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Desidratação osmótica**

Através dos resultados finais obtidos para os parâmetros de transferência de massa (perda de umidade e incorporação de sólidos) apresentados na Tabela 1, verifica-se que o tratamento utilizando 3 banhos sucessivos de solução osmótica (ensaio 3) resultou em uma incorporação de sólidos cerca de 20 % superior àquela referente ao ensaio 4, ou utilizando 2 banhos sucessivos, enquanto que a perda de umidade foi apenas 2 % superior.

Estes resultados sugerem que as fatias de manga desidratadas através de 3 banhos sucessivos de solução osmótica, apesar de apresentarem praticamente o mesmo teor final de sólidos totais que as fatias desidratadas em 2 banhos (respectivamente), foram mais impregnadas com o soluto (sacarose).

O processo de desidratação osmótica em um banho de 65°Brix de sacarose por 1h20min resultou em menores perda de peso, perda de umidade e incorporação de sólidos, resultando numa umidade final das fatias maior que dos outros tratamentos. Os tratamentos osmóticos em um banho de 65°Brix de sacarose por 2h (ensaio 2) e em 2 banhos sucessivos (ensaio 4) apresentaram parâmetros de transferência de massa próximos, bem como teor de umidade das fatias de manga.

**Tabela 1:** Resultados dos teores de sólidos totais (ST%) e umidade (U%)\* e das perdas de peso (PP%)\*\* , perda de umidade (PU%) e incorporação de sólidos (IS%) obtidos para fatias de manga desidratadas osmoticamente.

Ensaio	Tempo/ concentração da solução	PP (%)	PU (%)	IS (%)	ST (g/100g)	U (g/100g)
1	1h20min/65°Brix	<b>44,22</b>	<b>50,83</b>	<b>6,61</b>	<b>38,33 ± 0,01</b>	<b>61,66 ± 0,01</b>
2	2h/65°Brix	<b>47,37</b>	<b>55,35</b>	<b>8,00</b>	<b>43,25 ± 0,18</b>	<b>56,75 ± 0,18</b>
3	40min/35°Brix +	29,98	31,95	1,97	26,79 ± 0,77	73,21 ± 0,77
	40min/45°Brix +	8,22	12,76	4,55	34,13 ± 0,82	65,87 ± 0,82
	40min/65°Brix +	14,56	18,75	4,19	<b>44,86 ± 1,31</b>	<b>55,14 ± 1,31</b>
	Final	<b>45,1</b>	<b>56,17</b>	<b>11,07</b>		
4	1h/35°Brix +	29,57	31,39	1,83	26,43 ± 0,34	73,57 ± 0,34
	1h/65°Brix +	23,69	30,55	6,86	<b>43,64 ± 1,06</b>	<b>56,36 ± 1,06</b>
	Final	<b>46,25</b>	<b>55,06</b>	<b>8,81</b>		

\* média de três determinações ± desvio padrão; \*\* média de dois ensaios.

### Caracterização dos *chips* de manga obtidos por diferentes pré tratamentos de

## desidratação osmótica e fritura

### *Caracterização físico-química*

A Tabela 2 mostra os valores médios dos teores de sólidos totais, umidade, lipídeos (em base úmida e seca) dos *chips* de manga obtidos por diferentes processos de pré desidratação osmótica seguida por fritura.

**Tabela 2:** Resultados médios dos teores de sólidos totais, umidade e lipídeos para os *chips* obtidos por diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica e fritura.

Amostras*	Sólidos Totais (%)	Umidade (%)	Lipídeos (% b.u.)	Lipídeos (% b.s.)
1	97,28 ± 0,11 <b>b</b>	2,72 ± 0,11 <b>a</b>	12,97 ± 0,28 <b>a</b>	13,33 ± 0,28 <b>a</b>
2	97,69 ± 0,05 <b>a</b>	2,31 ± 0,05 <b>b</b>	10,89 ± 0,22 <b>b</b>	11,15 ± 0,22 <b>b</b>
3	97,19 ± 0,05 <b>b</b>	2,81 ± 0,05 <b>a</b>	9,86 ± 0,05 <b>b</b>	10,14 ± 0,05 <b>b</b>
4	97,38 ± 0,08 <b>b</b>	2,62 ± 0,08 <b>a</b>	10,55 ± 0,81 <b>b</b>	10,83 ± 0,81 <b>b</b>

\* *chips* de manga obtidos pelos processos de desidratação osmótica (DO) e fritura, sendo: 1- DO em solução sacarose 65°Brix por 80 minutos; 2- DO em solução sacarose 65°Brix por 120 minutos; 3- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35, 45 e 65°Brix, 40 minutos cada; 4- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35 e 65°Brix, 60 minutos cada.

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$

Verifica-se que, apesar de existir uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) do teor de umidade entre a amostra 2 e as demais, os valores encontrados são bem próximos entre si. O baixo teor de umidade dos *chips* é um ótimo atributo de qualidade, uma vez que está

intimamente relacionado à característica de crocância desejada neste tipo de produto.

Quanto ao teor de lipídeos, as amostras pré desidratadas pelos sucessivos banhos de 35, 45 e 65°Brix apresentaram os menores teores, tanto em base úmida como em base seca, enquanto que os *chips* desidratados osmoticamente em banho de concentração 65°Brix por 1 hora e 20 minutos apresentaram o maior teor de lipídeos. Este fato pode ser explicado pelo maior teor de sólidos presentes nas amostras 2, 3 e 4, conseguidos pela maior desidratação e impregnação por sacarose durante o processo de desidratação osmótica. Segundo alguns autores, o uso de soluções com alta concentração de açúcar leva à formação de uma barreira sólida de soluto na superfície do material (LAZARIDES e MAVROUDIS, 1996; BARONI, 2004), o que poderia minimizar a incorporação de óleo no processo subsequente de fritura (MOYANO e BERNA, 2002).

Comparando-se o teor de lipídeos com *chips* de outras matérias-primas, como maçã, também pré desidratada osmoticamente (30,5 %) (QUERIDO, 2005), mandioca (18,4 a 34,9 %, dependendo da variedade e do pré tratamento empregado) (GRIZOTTO e MENEZES, 2003), banana (37,0 a 42,4 %, dependendo da variedade e do ponto de maturação) (AMMAWATH *et al.*, 2001) e batata (30 a 40 %, conforme informação nutricional presente no rótulo de marcas comerciais) verifica-se que os *chips* de manga apresentam teores de lipídeos inferiores, mostrando ser um produto mais “*light*” neste macronutriente.

## **Textura**

Os valores médios da fraturabilidade dos *chips* obtidos por diferentes processos de pré desidratação osmótica e fritura estão apresentados na Tabela 3. Apesar das amostras pré desidratadas pelos sucessivos banhos de 35, 45 e 65°Brix apresentarem o maior valor da fraturabilidade, indicando uma maior resistência à quebra e portanto maior dureza, as amostras obtidas pelos diferentes tratamentos osmóticos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, a  $p < 0,05$ .

Grizotto (2000), avaliando o efeito de pré tratamentos nas características de textura de *chips* de mandioca, obteve valores de fraturabilidade variando de 390 a 1404 g, para a variedade IAC Mantiqueira, e de 511 a 943 g para a variedade IAC 576.70, dependendo do pré tratamento empregado. A pesquisadora constatou uma correlação negativa entre o parâmetro de textura e a aceitação dos *chips*, no caso da variedade Mantiqueira, indicando que a aceitação aumenta à medida que a fraturabilidade diminui, resultando em *chips* mais crocantes; e ausência de correlação para a variedade IAC 576.70, indicando que em alguns casos, mesmo com valores mais altos de fraturabilidade, a amostra possui uma boa aceitação sensorial.

Os valores encontrados com a manga revelam um produto mais resistente à fratura, com maior dureza, que pode estar relacionado à natureza da matéria-prima e também à espessura utilizada no trabalho. Os *chips* de mandioca desenvolvidos por Grizotto (2000) apresentavam a espessura inicial entre 1,1mm e 1,5mm, enquanto que neste trabalho a manga foi inicialmente fatiada em 3mm.

**Tabela 3:** Fraturabilidade instrumental dos *chips* obtidos por diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica.

Amostras*	Fraturabilidade (g)
1	1028,7 ± 138,1 <b>a</b>
2	982,3 ± 226,5 <b>a</b>
3	1147,7 ± 117,3 <b>a</b>
4	1038,3 ± 125,8 <b>a</b>

\* *chips* de manga obtidos pelos processos de desidratação osmótica (DO) e fritura, sendo: 1- DO em solução sacarose 65°Brix por 80 minutos; 2- DO em solução sacarose 65°Brix por 120 minutos; 3- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35, 45 e 65°Brix, 40 minutos cada; 4- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35 e 65°Brix, 60 minutos cada.

## Parâmetros de cor

Pode-se constatar pela Tabela 4 que os diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica proporcionaram *chips* com parâmetros de cor para bem próximos entre si, apesar de existir diferenças significativas entre as amostras ( $p < 0,05$ ).

A amostra 1 (pré desidratada osmoticamente em solução 65°Brix por 1 h e 20min) se apresentou mais clara e menos avermelhada, devido ao maior valor maior de L\* e menor de a, respectivamente apresentou maior luminosidade e menor valor de a (vermelho). Já a amostra 2, desidratada em um único banho a 65°Brix durante 2 h, apresentou maior valor de b (+ 49,16), indicando uma maior intensidade da coloração amarela dos *chips*, devido provavelmente à maior concentração de carotenóides na etapa de desidratação osmótica.

O pré tratamento realizado em dois ou três banhos sucessivos de solução osmótica (amostras 4 e 3, respectivamente) resultou em *chips* um pouco mais escuros, talvez devido à maior presença de sacarose impregnada no processo de desidratação osmótica e consequentemente maior caramelização no processo subsequente de fritura.

**Tabela 4:** Parâmetros\* de cor L\*, a\*, b\* para os *chips* obtidos por diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica.

Amostras	L*	a*	b*
1	69,91 ± 0,20 <b>a</b>	11,43 ± 0,05 <b>b</b>	43,16 ± 0,36 <b>b,c</b>
2	68,52 ± 0,41 <b>b</b>	12,55 ± 0,22 <b>a</b>	46,16 ± 0,99 <b>a</b>
3	67,55 ± 0,32 <b>c</b>	12,59 ± 0,08 <b>a</b>	44,37 ± 0,67 <b>b</b>
4	67,27 ± 0,16 <b>c</b>	12,61 ± 0,11 <b>a</b>	42,45 ± 0,52 <b>c</b>

\* *chips* de manga obtidos pelos processos de desidratação osmótica (DO) e fritura, sendo: 1- DO em solução sacarose 65°Brix por 80 minutos; 2- DO em solução sacarose 65°Brix por 120 minutos; 3- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35, 45 e 65°Brix, 40 minutos cada; 4- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35 e 65°Brix, 60 minutos cada.

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$

## **Análise sensorial**

Os *chips* não apresentaram diferença significativa a  $p < 0,05$  quanto aos atributos aparência, cor, aroma e sabor (Tabela 5).

No caso da textura, os *chips* mais aceitos foram aqueles obtidos nos dois ensaios de pré desidratação osmótica em um único banho de 65°Brix, por 1 hora e 20 minutos (amostra 1), e por 2 horas (amostra 2), não havendo diferença significativa entre estes dois tratamentos. Os *chips* obtidos pela pré desidratação em banhos obtiveram menor aceitação da textura, não havendo diferença significativa entre os tratamentos utilizando três ou dois banhos consecutivos (amostras 3 e 4, respectivamente).

De acordo com os comentários referentes a “mais gostei” e “menos gostei” observados nas fichas sensoriais, o termo referente à textura “dura” foi dado por 46,7 % dos provadores para a amostra 3 (35, 45, 65 °Brix), 43,3 % para a amostra 4 (35, 65°Brix), 33,3 % para a amostra 2, e 13,3 % para a amostra 1, o que pode explicar as diferenças encontradas entre as amostras para a aceitação deste atributo.

Em estudo realizado por Brandão e outros (2003), cubos de manga submetidos à desidratação osmótica em banhos sequenciados de 45, 55 e 65 °Brix (65 °C por 15 minutos, cada banho) seguida por secagem solar, apresentaram uma textura excessivamente rígida. No caso dos *chips* de manga, o uso de banhos pode ter resultado em uma textura mais dura, que apesar de não apresentar diferença significativa nos valores obtidos no teste de fraturabilidade instrumental em relação às amostras submetidas a apenas um banho (1 e 2), foi detectada pela equipe sensorial.

Comportamento semelhante foi observado para o atributo intenção de compra, sendo a maior média atribuída aos *chips* pré desidratados osmoticamente por 1 hora e 20 minutos (65°Brix), diferindo significativamente dos *chips* pré desidratados por banhos sucessivos de 35 e 65°Brix. O uso de dois ou três banhos como pré tratamento osmótico à fritura não resultou em diferenças significativas na intenção de compra dos *chips*.

Como não foram verificadas diferenças significativas para os atributos aparência,

cor, aroma e sabor, pode-se dizer que a intenção de compra dos *chips* foi definida pela aceitabilidade do atributo textura.

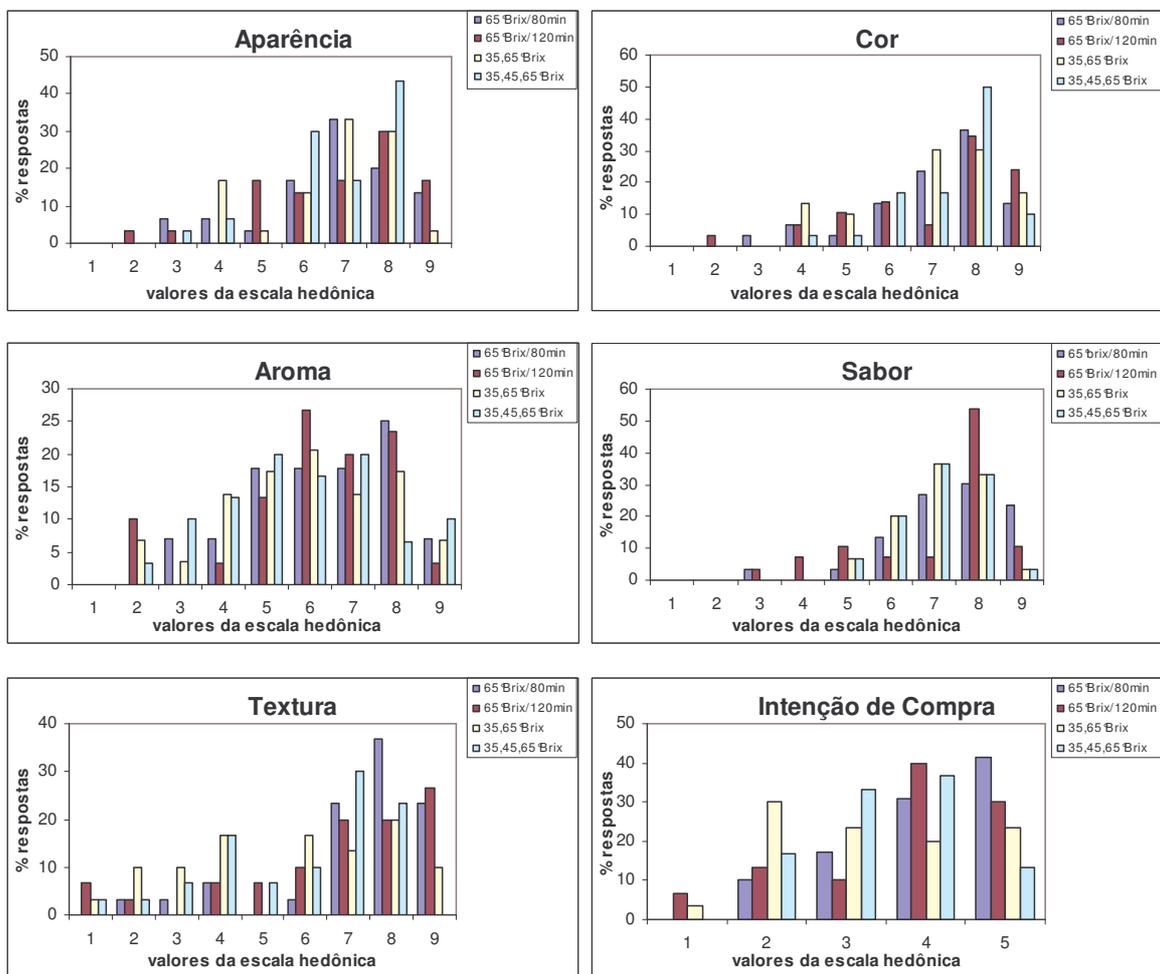
**Tabela 5:** Médias dos valores dos atributos sensoriais atribuídos pela equipe de provadores aos *chips* obtidos por diferentes processos de desidratação osmótica e fritura

Amostras*	Atributos sensoriais					
	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Intenção de compra
1	6,8 a	7,1a	6,4 a	7,4 a	7,3 a	4,0 a
2	6,9 a	7,1 a	6,2 a	7,1 a	6,7 a, b	3,7 a,b
3	6,8a	7,4 a	5,7 a	7,1 a	5,9 b,c	3,5 a,b
4	6,7 a	7,0 a	5,8 a	6,9 a	5,6 c	3,3 b

\* *chips* de manga obtidos pelos processos de desidratação osmótica (DO) e fritura, sendo: 1- DO em solução sacarose 65°Brix por 80 minutos; 2- DO em solução sacarose 65°Brix por 120 minutos; 3- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35, 45 e 65°Brix, 40 minutos cada; 4- DO em banhos sucessivos de solução de sacarose de 35 e 65°Brix, 60 minutos cada.

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$

A Figura 3 apresenta a distribuição das notas atribuídas pela equipe sensorial para cada atributo avaliado nos *chips* de manga. Pode-se verificar que elas se concentram, de maneira geral em torno das médias de aceitação da equipe de provadores obtidas através da análise de variância. Este fato garante maior confiabilidade ao resultado, já que a análise de variância considera o valor médio da aceitação da equipe e não os valores atribuídos por cada provador isoladamente, podendo ocultar um comportamento discrepante em relação à aceitação da amostra, como no caso de 50% dos provadores atribuírem notas baixas e 50% notas altas, gerando um valor médio de aceitação não realmente representativo.



**Figura 3:** Histogramas de frequência para os atributos avaliados pelo teste de aceitação sensorial.

## CONCLUSÕES

O uso de banhos seqüenciados de solução osmótica de concentração crescente, apesar de aumentar a incorporação de sólidos do produto previamente à fritura, não resultou em melhoria da qualidade final dos *chips*, visto pelas características físicas, físico químicas e sensoriais. Assim, a desidratação osmótica em apenas um banho de 65°Brix de sacarose, entre 1h20min a 2h, a 40°C e 200 rpm, parece ser a mais indicada como pré tratamento ao processo de fritura para obtenção de *chips* de manga, pela economia de tempo, energia e menor perda dos compostos da fruta para a solução osmótica.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y. B.; YUSOF, S.; RAHMAN, R. A. Effects of variety and stage of fruit ripeness on the physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried banana chips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1166-1171, 2001.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th. ed. Gaithersburg: AOAC, 1997.

BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. 2004. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification.

**Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUZA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.

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.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 33-43, 2003.

GRIZOTTO, R. K. **Mandioca “chips”:** uma tecnologia para aproveitamento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). 2000. 130 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 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.

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

ISLAM, M. N.; FLINK, J. M. Dehydration of potato. II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. **Journal of Food Technology**, n. 17, p. 387-403, 1982.

KROKIDA, M. K.; OREOPOULOU, V.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D.; Effect of osmotic dedydration pretreatment on quality of French fries, **Journal of Food**

**Engineering**, v. 49, p. 339-345, 2001.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during osmotic pre concentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Science**, v. 25, p. 151-166, 1995.

LAZARIDES, H. N.; MAVROUDIS, N. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. **Journal of Food Engineering**, v. 30, p. 61-74, 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.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. **Journal of Food Science**, n. 50, p. 1217-1226, 1985.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples, shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 101-123, 1998.

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. 219 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - 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.

REYNES, M.; AYMARD, C.; AW, B. Production de chips d'ananas par le procédé combiné deshydratation osmotique-friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 139-150, 1997.

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.

SAUREL , R.; RAOULT-WACK, A .L.; RIOS, G.; GUILBERT, S. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I. Fresh plant tissue. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 29, p. 531-542, 1994.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. London: Academic Press, 1993.

TELIS, V. R. N; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 253-259, 2004.

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

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



## CAPÍTULO 6:

### AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE *CHIPS* DE MANGA OBTIDOS PELO PROCESSO DE FRITURA POR IMERSÃO ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA<sup>6</sup>

#### RESUMO

Foram verificados os efeitos do tempo e da temperatura do processo de fritura para obtenção de *chips* de manga, utilizando-se a Metodologia de Superfície de Resposta. As respostas avaliadas foram teores de umidade e de lipídeos, parâmetros de cor (L, a\*, b\*), e aceitação sensorial. As respostas teor de umidade, por estar relacionada à característica de crocância, e aceitação sensorial da cor e do sabor, foram escolhidas para se determinar a faixa ótima de trabalho. Observou-se através da superposição das respectivas superfícies de contorno que as faixas ótimas de temperatura e tempo para a fritura foram de 155 a 165°C e 140 a 180 segundos, respectivamente.

**Palavras chave:** Metodologia de Superfície de Resposta, otimização, desidratação osmótica, fritura.

---

<sup>6</sup> Artigo a ser enviado para a revista Food Research International  
137

## SUMMARY

Response surface methodology was used to determine the effects of time and temperature in the frying process used to obtain mango chips. The responses evaluated were the moisture and lipid contents, the colour parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and sensory acceptance. The responses moisture content, since it is related to the characteristic of crispness, color and taste acceptance, were chosen to determine the optimum working ranges. By superimposing the respective contour maps, the optimum temperature range was shown to be from 155 to 165°C and the optimum time range from 140 to 180s.

**Keywords:** Response Surface Methodology, optimisation, osmotic dehydration, deep fat frying.

## INTRODUÇÃO

A fritura por imersão é um processo complexo de cozimento e secagem através do contato do alimento com óleo aquecido, envolvendo simultaneamente transferência de calor e massa. A qualidade dos alimentos fritos depende de vários fatores, inerentes ao processo, ao óleo e ao alimento (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

Os fatores do processo incluem temperatura do óleo, tempo de residência do produto na fritadeira, e o tipo de equipamento utilizado (por batelada ou contínuo); os fatores relacionados ao óleo são sua composição química, características físico-químicas, presença de contaminantes e aditivos; quanto ao alimento, as variáveis são composição, tecido vegetal ou animal (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999, 1999), ponto de maturação (DIAZ *et al.*, 1999;) e variedade (AMMAWATH *et al.*, 2001; VITRAC *et al.*, 2000), pré tratamentos (KROKIDA *et al.*, 2001; MOYANO e BERNA, 2002). As razões alimento/óleo e área superficial/volume são importantes pois determinam quanto de óleo penetra no alimento (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

Uma série de fenômenos de natureza física e química ocorrem dentro do alimento durante a fritura: transporte de massa e calor, como aquecimento, perda de água, perda de soluto, migração de óleo; deformações mecânicas, tais como expansão, encolhimento, desenvolvimento de porosidade, enrugamento da superfície; reações como a de Maillard e degradação de proteínas; transformações físico-químicas como gelatinização, retrogradação, transição vítrea de carboidratos e proteínas, etc. (VITRAC, TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000). A fritura ainda promove a esterilização da superfície do produto com a destruição térmica de microrganismos e a inativação de enzimas responsáveis pela degradação do mesmo (REYNES, AYMARD e AW, 1997).

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). O aumento da temperatura acelera a taxa de remoção de água (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999),

e apesar de haver uma correlação com a incorporação de óleo, esta última é consequência de mudanças na microestrutura durante o decorrer da desidratação durante a fritura, como enrugamento da superfície, porosidade, distribuição de poros (MOREIRA, SUN e CHEN, 1997; PINTHUS, WEINBERG e SAGUY, 1995a,b).

Vitrac *et al.* (2002), estudando os mecanismos de transferência de calor e massa durante a fritura por imersão de *chips* de mandioca, descreveram o processo de fritura em dois estágios envolvendo vaporização interna da maior parte de água disponível, que pode ser transportada dentro do material, a uma temperatura próxima do ponto de ebulição, com controle da taxa de secagem por resistências térmicas de difusão e convecção; e vaporização interna de água ligada a uma temperatura elevada, dependente do equilíbrio de desorção de água, com decréscimo do gradiente de temperatura entre óleo e produto.

*Chips* com espessura menor de 3mm possuem uma considerável área superficial específica e altas taxas de transferência de calor e de desidratação acompanhadas de rápidas mudanças na cor e textura, e grande absorção de óleo (VITRAC *et al.*, 2002).

As características desejadas em *chips*, como baixo teor de umidade residual, textura crocante, pouco escurecimento são dependentes das condições do processo e das características do material. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência das variáveis de processo temperatura e tempo de fritura nas características físico-químicas e na aceitação sensorial de *chips* de manga pré desidratada osmoticamente, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

A matéria-prima, manga da variedade Tommy Atkins, no estado de maturação “de vez”, foi obtida no Ceasa de Campinas, SP. As frutas foram cortadas longitudinalmente em duas metades rentes ao caroço, e cada metade fatiada transversalmente em cortador elétrico na espessura de 3mm, mantendo-se a casca.

Como agente osmótico foi utilizada sacarose comercial e para o processo de fritura óleo de palma refinado (Grupo Agropalma), com a composição nos principais ácidos graxos sendo: 44% ácido oleico (C18:1), 38% ácido palmítico (C16:0), 10% ácido linoleico (C18:2) e 4,5% ácido esteárico (C18:1).

### Desidratação osmótica

A desidratação osmótica das fatias de manga, utilizada como pré tratamento ao processo de fritura, foi realizada em um equipamento tipo *shaker* (modelo MA830, Marconi), nas seguintes condições de processo: temperatura de 40°C, tempo de 80 minutos, agitação de 200 rpm, proporção de fruta e solução de sacarose a 65°Brix de 1:4 (p/p), ou seja, 400g de fatias de manga e 1600g de solução osmótica. Estas condições foram determinadas em estudos realizados previamente por Torezan *et al.* (2004 a, b), Torezan e Menezes (2004). Ao final do processo, as fatias foram enxaguadas para remoção da solução da superfície e secas manualmente com papel absorvente.

### Fritura

As fatias de manga previamente desidratadas foram submetidas ao processo de fritura em fritadeira elétrica (modelo F25, Croydon, Brasil) equipada com controlador de temperatura (tipo E5GN-Q1TC, Omron), utilizando a proporção de fruta e óleo de 1:40

(p/p), ou seja, 250g de manga desidratada osmoticamente e 10kg de óleo de palma refinado. O excesso de óleo foi retirado através de centrifugação (1800 rpm ou 400 xg) (centrífuga doméstica, Mueller Eletrodomésticos, Brasil). O binômio tempo e temperatura do processo foi estudado por meio da Metodologia de Superfície de Resposta, ou Response Surface Methodology (RSM), desenvolvida por G. E. P. Box na década de 1950 (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978; BARROS NETO, SACARMINIO e BRUNS, 1996).

### **Planejamento experimental (RSM)**

O planejamento estatístico utilizado foi o “composto central” compreendendo o fatorial  $2^2$  com fatores ou variáveis independentes tempo (s) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), em dois níveis (+1, -1), acrescido de mais quatro pontos axiais a uma distância  $\alpha = \pm 1,42$ , denominado “planejamento estrela”. As respostas ou variáveis dependentes para verificar os efeitos individuais e de interação nas características de chips de manga foram teores de umidade e de lipídeos, parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e aceitação sensorial em termos de aparência, cor, aroma, sabor, textura e intenção de compra.

Foram geradas 8 combinações de níveis para as variáveis independentes, com 4 repetições do ponto central do planejamento (Tabela 1). Foi utilizado um modelo polinomial de segundo grau (Equação 1) para descrever as variáveis dependentes, ou respostas:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (1)$$

onde  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  representam os coeficientes lineares da regressão;  $b_{12}$ , a interação entre os fatores e  $b_{11}$ ,  $b_{22}$  os coeficientes quadráticos da regressão;  $x_1$ ,  $x_2$  representam os valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente.

O nível superior da variável temperatura foi determinado de acordo com a legislação brasileira, segundo o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação, resolução nº 216, de 15 de setembro de 2004, da Agência Nacional de

Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde (BRASIL, 2005), que estabelece uma temperatura máxima de 180°C para utilização de óleos e gorduras; o nível inferior foi escolhido de maneira a existir uma diferença mínima entre a temperatura do óleo e do ponto de ebulição da água dentro do alimento (cerca de 102°C, devido à presença de solutos), uma vez que é esse gradiente a força motriz de desidratação no processo de fritura (DIAZ *et al.*, 1996). Os níveis inferior e superior do tempo foram escolhidos de acordo com estudos preliminares (Capítulo 2).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa STATISTICA for Windows, versão 5.0: cálculo dos efeitos dos parâmetros lineares, quadráticos e da interação, e ajuste dos modelos eliminando-se os parâmetros não significativos a  $p \leq 0,05$ , através dos valores obtidos para cada resposta; análise de variância (ANOVA) para os modelos ajustados, avaliando-se a significância da regressão e da falta de ajuste a  $p \leq 0,05$  através do fator F, e o coeficiente de determinação  $R^2$ , que representa a porcentagem de variância explicada, indicando o ajuste do modelo (quanto mais próximo de 1 ou de 100% melhor terá sido o ajuste).

**Tabela 1:** Delineamento composto central.

Ensaio	Valores Codificados		Valores Decodificados	
	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Tempo (s)
1	- 1	- 1	145,9	63
2	- 1	+1	145,9	177
3	+1	- 1	174,1	63
4	+1	+1	174,1	177
5	- 1,414	0	140	120
6	+1,414	0	180	120
7	0	- 1,414	160	40
8	0	+1,414	160	200
9	0	0	160	120
10	0	0	160	120
11	0	0	160	120
12	0	0	160	120

## **Metodologia analítica**

Os teores de umidade foram determinados através de secagem das amostras em estufa a vácuo a 70°C até peso constante, de acordo com método 934.06 da AOAC (1997).

Os teores de lipídeos foram determinados através da extração por clorofórmio e metanol, de acordo com o método descrito por Bligh e Dyer (1959).

A medida da cor foi realizada através da leitura dos valores de L\* (% de luminosidade, variando de 0% - preto a 100% - branco), a\* (+a\* vermelho, -a\* verde), b\* (+b\* amarelo, -b\* azul), pelo sistema CIELAB, em espectrofotômetro (Colorquest II, Hunter Lab.) utilizando calibração RSIN, iluminante D<sub>65</sub> e um ângulo de detecção de 10°. As amostras foram trituradas e acondicionadas em placa de Petri recoberta com filme plástico de policloreto de vinila (pvc), e o espectrofotômetro calibrado com o mesmo filme.

## **Análise sensorial**

Foi realizada através de teste afetivo (STONE e SIDEL, 1993), medindo a aceitabilidade das 12 amostras obtidas no planejamento experimental, em seus atributos aparência, cor, aroma, sabor e textura, utilizando escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (desgostei extremamente) e superior 9 (gostei extremamente), e intenção de compra, utilizando escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (certamente não compraria) e superior 5 (certamente compraria). Foram consultados 41 provadores e as amostras servidas em prato de plástico branco codificados com três algarismos, em cabines individuais sob luz branca.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de teor de umidade (%) e de lipídeos (%) dos 12 ensaios gerados pelo planejamento composto central estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Resultados\* de teor de umidade (%) e de lipídeos (% em base úmida e % em base seca) dos *chips* de manga obtidos através dos 12 ensaios de fritura do planejamento.

n° ensaio (temperatura e tempo)	Umidade (%)	Lipídeos (% bu)	Lipídeos (% bs)
1 (145,9°C/63s)	28,58 ± 0,08	5,33 ± 0,09	7,46
2 (145,9°C/177s)	5,07 ± 0,03	12,68 ± 0,13	13,36
3 (174,1°C/63)	12,00 ± 0,05	12,71 ± 0,02	14,44
4 (174,1°C/177s)	1,47 ± 0,03	16,93 ± 0,00	17,18
5 (140°C/120s)	15,42 ± 0,11	7,65 ± 0,04	9,04
6 (180°C/120s)	2,16 ± 0,04	16,26 ± 0,14	16,62
7 (160°C/40s)	32,64 ± 0,03	4,45 ± 0,01	6,61
8 (160°C/200s)	2,18 ± 0,01	15,43 ± 0,08	15,77
9 (160°C/120s)	4,94 ± 0,02	14,69 ± 0,05	15,45
10 (160°C/120s)	7,51 ± 0,17	12,14 ± 0,03	13,10
11 (160°C/120s)	6,66 ± 0,06	12,23 ± 0,07	13,22
12 (160°C/120s)	7,32 ± 0,01	13,41 ± 0,01	14,37

\*média de três determinações ± desvio padrão

A partir dos resultados, foram gerados os modelos polinomiais. Na Tabela 3 estão apresentados os valores dos efeitos, coeficientes da regressão e significância estatística dos modelos ajustados para teor de umidade e de lipídeos. Nos anexos 1, 2 e 3 estão os resultados da ANOVA para o modelo ajustado.

**Tabela 3:** Efeitos, coeficientes da regressão e análise de variância para os teores de umidade e lipídeos dos *chips* de manga.

Resposta	Fatores	Efeitos <sup>a</sup>	Coeficientes da Regressão	Erro Padrão (Erro Puro)	p	R <sup>2</sup>	F	
							Regressão <sup>b</sup>	Falta Ajuste <sup>c</sup>
<i>Umidade</i>	$b_0$	7,2169	7,2169	0,4531	0,0005	0,9812	91,3528	n.s.
	Linear							
	$b_1$	-9,7330	-4,8665	0,8272	0,0013			
	$b_2$	-19,2812	-9,6406	0,8272	0,0002			
	Quadrático							
	$b_{11}$	n.s.						
	$b_{22}$	9,8393	4,9197	0,9062	0,0017			
	Interação							
	$b_{12}$	6,4844	3,2422	1,1699	0,0116			
<i>Lipídeos (bu)</i>	$b_0$	11,9931	11,9931	0,3456	0,0000	0,8798	32,9238	n.s.
	Linear							
	$b_1$	5,9555	2,9777	0,8467	0,0059			
	$b_2$	6,7740	3,3870	0,8467	0,0041			
	Quadrático							
	$b_{11}$	n.s.						
	$b_{22}$	n.s.						
	Interação							
	$b_{12}$	n.s.						
<i>Lipídeos (bs)</i>	$b_0$	13,0526	13,0526	0,3187	0,0000	0,8569	26,9424	n.s.
	Linear							
	$b_1$	5,3793	2,6897	0,7801	0,0063			
	$b_2$	5,3997	2,6998	0,7801	0,0062			
	Quadrático							
	$b_{11}$	n.s.						
	$b_{22}$	n.s.						
	Interação							
	$b_{12}$	n.s.						

<sup>a</sup> parâmetros significativos a  $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> regressão significativa a  $p < 0,05$ ; <sup>c</sup> falta de ajuste do modelo não significativa a  $p < 0,05$ .

## Teor de Umidade

Pode-se verificar pela Tabela 3 que apenas o efeito quadrático da temperatura ( $b_{11}$ ) não foi significativo ( $p \leq 0,05$ ). Os efeitos lineares da temperatura ( $b_1$ ) e do tempo ( $b_2$ ) significativos ao nível de probabilidade de 95% de confiança e negativos, indicam que um aumento nestes efeitos acarreta diminuição do teor de umidade dos *chips*.

Os efeitos quadrático do tempo ( $b_{22}$ ) e da interação tempo e temperatura ( $b_{12}$ ), também significativos ( $p < 0,05$ ) porém de sinais positivos, representam estatisticamente que um aumento nestes parâmetros levaria a um aumento do teor de umidade. Em termos práticos esta constatação é incoerente e absurda, pois valeria dizer que pelo modelo matemático haveria um aumento do teor de umidade em tempos de fritura mais longos.

Para discutir estes resultados podemos substituir, no modelo matemático decodificado (Equação 2b), valores de tempo superiores ao maior utilizado no planejamento, que foi 200 segundos. Assim, para tempos de 220 e 240s, fixando a temperatura em 160°C, os teores de umidade encontrados são 2,83 e 5,77%, respectivamente, enquanto 1,08 % para 200 segundos.

De fato percebe-se que os valores do teor de umidade aumentam com o aumento da variável tempo além do valor superior utilizado no planejamento estudado. Pela equação do modelo, a substituição de valores de tempo acima de 200 segundos leva a um aumento dos termos quadrático do tempo e da interação, que por serem positivos, elevam o valor da resposta. Isto implica em dizer que o modelo deve ser utilizado apenas para a faixa de tempo estudada.

Segundo Barros Neto, Scarminio e Bruns (1996), o modelo matemático empírico é um modelo local, isto é, aplicável apenas a uma determinada região, e a extrapolação da faixa das variáveis é sempre arriscada e deve sempre ser testada com mais experimentos. Neste caso, a extrapolação da faixa da variável tempo, para valores superiores, leva a valores incoerentes da resposta teor de umidade.

Os modelos matemáticos em termos codificados e decodificados estão apresentados nas Equações 2a e 2b, respectivamente.

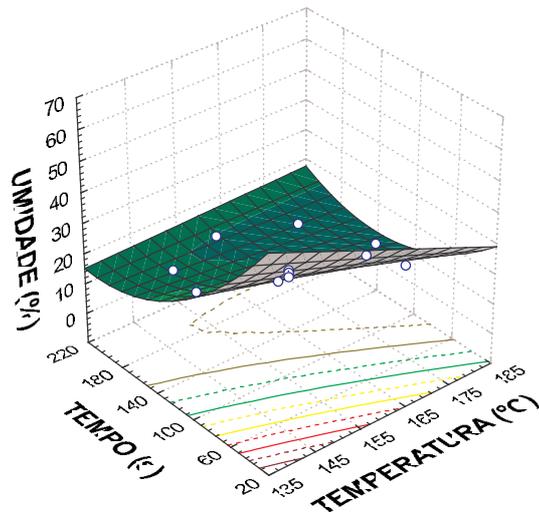
$$U(\text{codificado}) = 7,2169 - 4,8665x_1 - 9,6406x_2 + 4,9197x_2^2 + 3,2422x_1x_2 \quad (2a)$$

$$U(\text{decodificado}) = 182,2138 - 0,8287T - 1,1827t + 0,0015t^2 + 0,0040Tt \quad (2b)$$

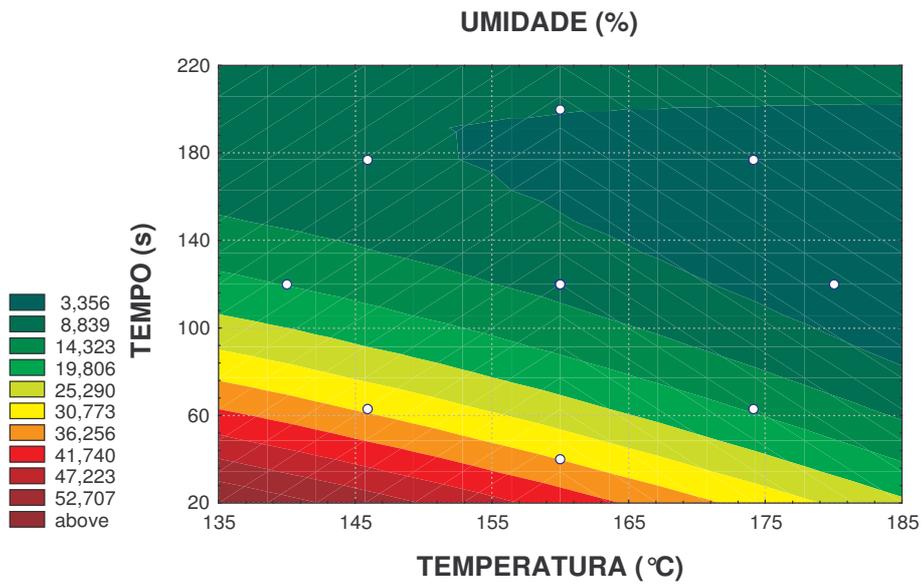
Onde: U= teor de umidade (%);  $x_1$ ,  $x_2$  = valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente; T e t = valores decodificados da temperatura e do tempo.

Através do modelo decodificado foram geradas as superfícies de resposta e de contorno, apresentadas nas Figuras 1a e 1b.

De acordo com as superfícies geradas observa-se que, para se obter *chips* com umidade inferior a 7%, devem ser utilizadas temperaturas superiores a 155°C e tempo superior a 100s.



(a)



(b)

**Figura 1:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para o teor de umidade

### **Teor de lipídeos em base seca e úmida**

Verifica-se pela Tabela 3 que apenas os efeitos lineares da temperatura ( $b_1$ ) e do tempo ( $b_2$ ) foram significativos ( $p < 0,05$ ) e de sinal positivo, indicando que aumento nas variáveis independentes decorre em aumento do teor de lipídeos dos *chips*, calculados tanto em base úmida (g óleo/100g produto úmido) como em base seca (g óleo/100g sólidos totais).

A absorção de óleo é um fenômeno complexo que acontece principalmente quando o produto é removido da fritadeira, durante a etapa de resfriamento (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999; GARAYO e MOREIRA, 2002). Baumann e Hescher (1995) verificaram que temperaturas elevadas de fritura sob condições atmosféricas causam um pequeno aumento no teor final de lipídeos em batata *chips*, devido a um rápido desenvolvimento da crosta no produto e conseqüentemente de propriedades de superfície favoráveis à absorção de óleo.

Segundo Garayo e Moreira (2002), os mecanismos de transferência de massa em fritura à pressão atmosférica ocorrem em dois períodos: durante o próprio processo de fritura e durante o resfriamento do produto. O período de fritura é caracterizado pelo aquecimento, com elevação da temperatura do material (ambiente, entre 23-24°C) ao ponto de ebulição da água (100°C), que acontece bem rapidamente, devido ao alto calor específico da água líquida. Assim que a água dentro do produto alcança o ponto de ebulição, ela vaporiza, e os poros do produto passam a ser preenchidos por gases (vapor d'água e ar). Neste período a pressão capilar é negligível, não havendo força motriz para que o óleo penetre nos poros dos *chips*.

Durante o período de resfriamento ocorrem mudanças na pressão interna do produto, e a diferença de pressão entre a superfície e os poros do mesmo cria uma força motriz para que o óleo aderido à superfície, juntamente com ar, penetre nos poros.

Assim, pode-se dizer que existe uma relação entre saída de água e incorporação de óleo, pois quanto maior o fluxo de saída de água na forma de vapor do produto durante o

período da fritura e conseqüentemente mais poros criados, uma maior quantidade de óleo será absorvida no período de resfriamento.

Pode-se interpretar esta relação através dos efeitos da temperatura e do tempo de fritura encontrados através dos modelos gerados para umidade e lipídeos. O aumento destes fatores leva a uma diminuição do teor de umidade (efeito negativo), ou seja, a uma maior saída de água do produto, e neste caso mais poros criados passíveis de serem preenchidos com óleo durante o resfriamento dos *chips* (efeito positivo).

Os modelos matemáticos em termos codificados e decodificados para o teor de lipídeos estão apresentados nas Equações 3a e 3b, em base úmida, e nas Equações 4a e 4b em base seca, respectivamente:

$$\text{Lipbu (codificado)} = 11,9931 + 2,9777x_1 + 3,3870x_2 \quad (3a)$$

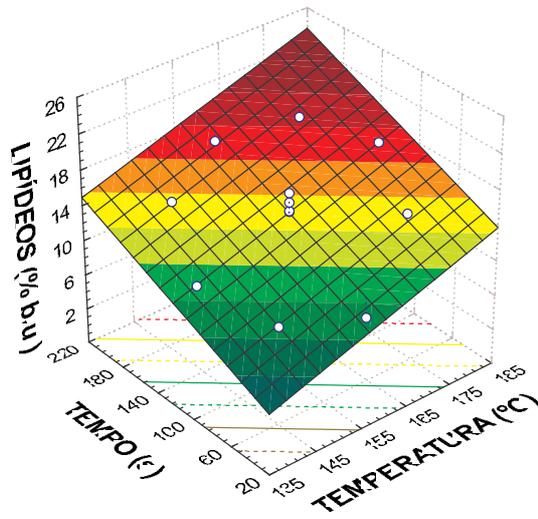
$$\text{Lipbu (decodificado)} = -28,9010 + 0,2109T + 0,0596t \quad (3b)$$

$$\text{Lipbs (codificado)} = 13,0526 + 2,6897x_1 + 2,6998x_2 \quad (4a)$$

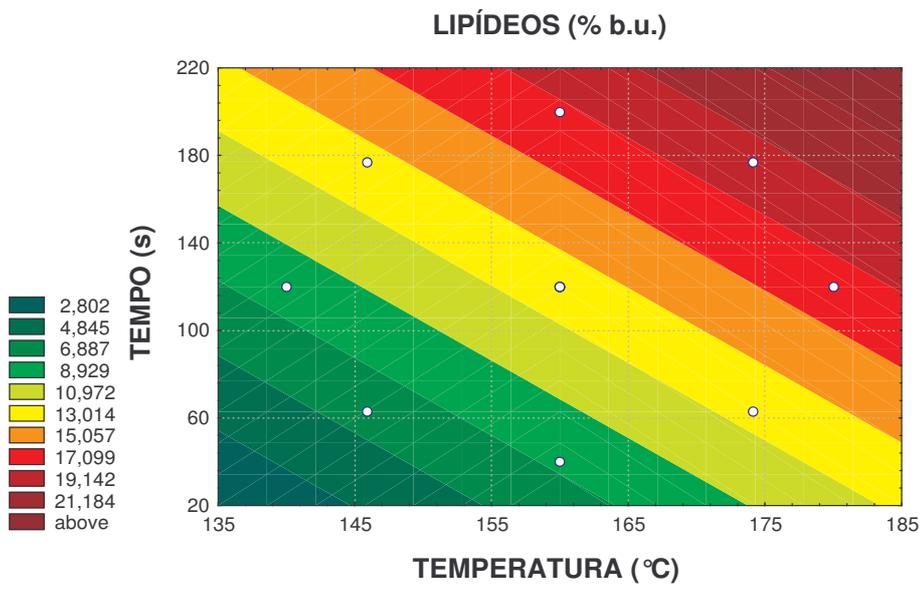
$$\text{Lipbs (decodificado)} = -23,1236 + 0,1905T + 0,0475t \quad (4b)$$

Onde: Lipbu = teor de lipídeos (% base úmida); Lipbs = teor de lipídeos (% base seca);  $x_1$ ,  $x_2$  = valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente; T e t = valores decodificados da temperatura (°C) e do tempo (s).

Através dos modelos decodificados foram geradas as superfícies de resposta (a) e de contorno (b), para o teor de lipídeos em base úmida (Figura 2) e em base seca (Figura 3).



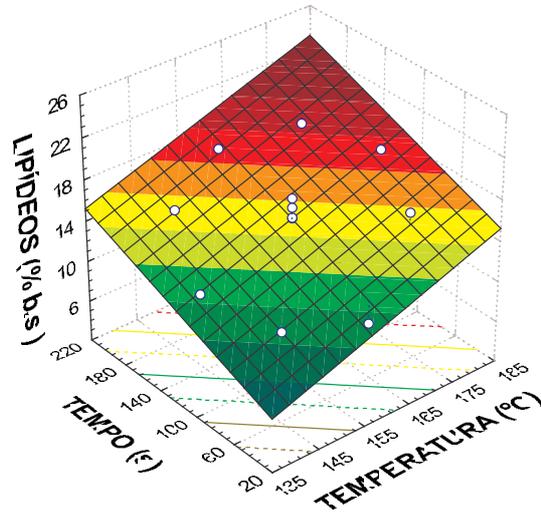
(a)



(b)

**Figura 2:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para o teor de lipídeos em base

úmida



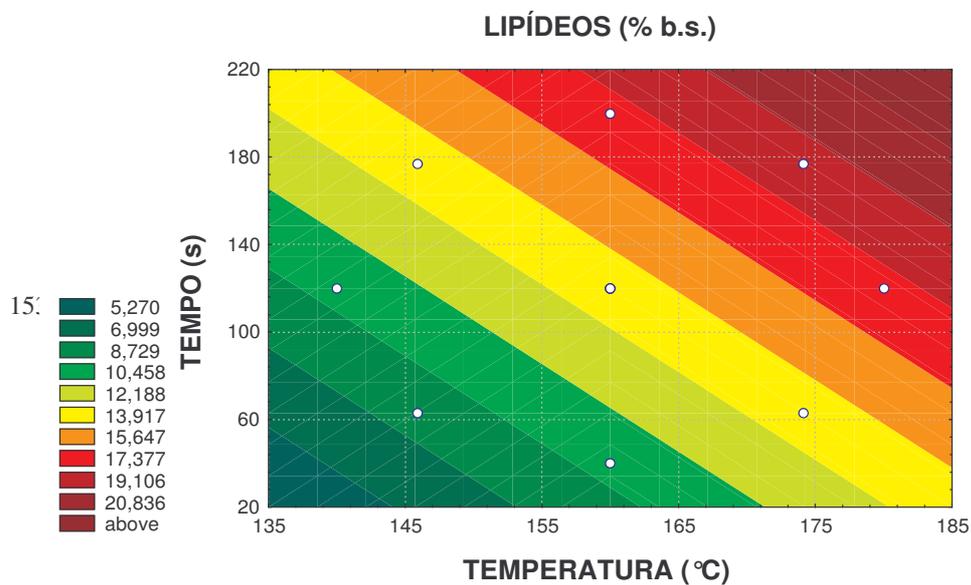
(a)

(b)

**Figura 3:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para o teor de lipídeos em base seca

### Parâmetros de Cor

Os resultados obtidos para os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) dos 12 ensaios gerados pelo planejamento composto central estão apresentados na Tabela 4.



**Tabela 4:** Resultados\* dos parâmetros de cor L\*, a\* e b\* dos *chips* de manga obtidos através dos 12 ensaios de fritura do planejamento.

N° ensaio (temperatura e tempo)	L*	a*	b*
1 (145,9°C/63s)	59,32 ± 0,11	4,62 ± 0,03	31,37 ± 0,20
2 (145,9°C/177s)	65,89 ± 0,14	5,66 ± 0,13	37,11 ± 0,17
3 (174,1°C/63)	60,53 ± 0,07	6,71 ± 0,10	34,89 ± 0,20
4 (174,1°C/177s)	48,83 ± 0,08	10,05 ± 0,18	18,16 ± 0,22
5 (140°C/120s)	62,40 ± 0,04	6,83 ± 0,06	36,87 ± 0,13
6 (180°C/120s)	53,24 ± 0,10	9,89 ± 0,02	22,98 ± 0,07
7 (160°C/40s)	56,85 ± 0,04	5,78 ± 0,16	30,13 ± 0,23
8 (160°C/200s)	56,33 ± 0,07	9,91 ± 0,08	26,99 ± 0,05
9 (160°C/120s)	64,66 ± 0,10	6,27 ± 0,03	36,94 ± 0,18
10 (160°C/120s)	65,11 ± 0,15	7,45 ± 0,09	38,59 ± 0,12
11 (160°C/120s)	64,61 ± 0,19	6,12 ± 0,08	37,75 ± 0,15
12 (160°C/120s)	62,58 ± 0,10	7,01 ± 0,05	34,77 ± 0,01

\*média de três determinações ± desvio padrão

A partir dos resultados foram gerados os modelos. Na Tabela 5 estão apresentados os valores dos efeitos, coeficientes da regressão e significância estatística dos modelos ajustados para os parâmetros de cor. Nos anexos 4, 5 e 6 estão apresentados os resultados da ANOVA para o modelo ajustado.

**Tabela 5:** Efeitos, coeficientes da regressão e análise de variância para os parâmetros de cor dos *chips* de manga.

Resposta	Fatores	Efeitos <sup>a</sup>	Coefficientes Da Regressão	Erro Padrão (Erro Puro)	p	R <sup>2</sup>	F
----------	---------	----------------------	----------------------------------	----------------------------	---	----------------	---

						Regressão <sup>b</sup>	Falta Ajuste <sup>c</sup>		
<i>L</i> *	<i>b</i> <sub>0</sub>	64,2400	64,2400	0,5646	0,0000	0,9494	32,8441	n.s.	
	Linear								
	<i>b</i> <sub>1</sub>	-7,2010	-3,6005	0,7985	0,0029				
	<i>b</i> <sub>2</sub>	n.s.							
	Quadrático								
	<i>b</i> <sub>11</sub>	-5,7012	-2,8506	0,8928	0,0078				
	<i>b</i> <sub>22</sub>	-6,9312	-3,4656	0,8928	0,0044				
	Interação								
	<i>b</i> <sub>12</sub>	-9,1350	-4,5675	1,1293	0,0039				
	<i>a</i> *	<i>b</i> <sub>0</sub>	7,1917	7,1917	0,1810	0,0000	0,7629	14,4805	n.s.
Linear									
<i>b</i> <sub>1</sub>		2,7019	1,3509	0,4433	0,0089				
<i>b</i> <sub>2</sub>		2,5552	1,2776	0,4433	0,0104				
Quadrático									
<i>b</i> <sub>11</sub>		n.s.							
<i>b</i> <sub>22</sub>		n.s.							
Interação									
<i>b</i> <sub>12</sub>		n.s.							
<i>b</i> *		<i>b</i> <sub>0</sub>	37,0125	37,0125	0,8199	0,0000	0,9610	29,5853	n.s.
	Linear								
	<i>b</i> <sub>1</sub>	-8,7684	-4,3842	1,1595	0,0048				
	<i>b</i> <sub>2</sub>	-3,8577	-1,9288	1,1595	0,0448				
	Quadrático								
	<i>b</i> <sub>11</sub>	-6,5175	-3,2587	1,2963	0,0152				
	<i>b</i> <sub>22</sub>	-7,8825	-3,9412	1,2963	0,0089				
	Interação								
	<i>b</i> <sub>12</sub>	-11,2350	-5,6175	1,6397	0,0064				

<sup>a</sup> parâmetros significativos a  $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> regressão significativa a  $p < 0,05$ ; <sup>c</sup> falta de ajuste do modelo não significativa a  $p < 0,05$ .

Segundo Moreira, Castell-Perez e Barrufet (1999), a cor é um dos principais fatores que influenciam a aceitabilidade de um produto frito. Ela pode indicar a alta qualidade do produto (como amarelo dourado no caso de batata *chips*) e também influenciar no

reconhecimento de aroma e sabor.

O parâmetro  $L^*$ , que pode variar de 0 (preto) a 100% (branco), indica a luminosidade de um produto, assim, quanto maior o valor de  $L^*$  mais luminoso ou claro este será. No caso dos *chips*, representa a extensão do desenvolvimento de cor durante a fritura, que pode ser desejável até certo ponto, mas valores baixos de  $L^*$  indicam o escurecimento e até queima do mesmo, devido a presença de compostos de coloração escura, chamadas melanoidinas, que são produtos das reações de escurecimento não enzimático, como reação de Maillard, que ocorre entre proteínas e açúcares redutores, e caramelização, com açúcares (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Segundo Dobarganes, Márquez-Ruiz e Velasco (2000), o escurecimento não enzimático pode ainda ser devido a reações entre produtos da oxidação lipídica e aminoácidos ou proteínas. O mecanismo envolveria a condensação de compostos carbonílicos derivados de lipídeos insaturados com aminoácidos livres, produzindo base de *Schiff*, que através de condensação produziriam macromoléculas de coloração marrom.

Os valores de  $L^*$  (luminosidade) e  $+b^*$  (amarelo) foram afetados significativamente pelo tempo e pela temperatura, sendo praticamente quase todos os parâmetros (lineares, quadráticos e de interação) dos modelos negativos e significativos ( $p < 0,05$ ), indicando que um aumento nas variáveis do processo de fritura leva a uma diminuição das respostas. Apenas o parâmetro linear do tempo ( $b_2$ ) para a resposta  $b^*$  não foi significativo ( $p < 0,05$ ). Pode-se dizer que os *chips* mais amarelos são também aqueles mais claros.

No caso de  $+a^*$  (vermelho), apenas os parâmetros lineares do modelo ( $b_1$  e  $b_2$ ) gerado foram significativos a  $p < 0,05$ , e de sinal positivo, indicando que um aumento das variáveis tempo e a temperatura de fritura resulta em aumento da coloração avermelhada dos *chips*, devido a reação de Maillard (SHYU e HWANG, 2001; GARAYO e MOREIRA, 2002).

A observação visual das amostras pôde confirmar os resultados obtidos com a medida analítica, uma vez que os *chips* se tornaram mais escuros, mais avermelhados e

menos amarelos nos ensaios do planejamento fatorial de nível superior das variáveis tempo e temperatura de processo.

Vitrac *et al.* (2002) verificaram que as mudanças de cor (nível de cinza, através de análise de imagens obtidas por um *scanner*, utilizando 2<sup>8</sup> níveis) em *chips* de mandioca não foram afetadas pela temperatura de trabalho (140 e 160°C), para um mesmo teor de água residual. A mudança de cor, ou seja, o escurecimento devido a reações não enzimáticas, pareceu estar mais relacionada ao teor de água do produto. Em outro estudo, o pesquisador observou, em *chips* de maçã, um escurecimento pronunciado (medido pelo nível de cinza das amostras) a partir de um teor de água de 0,2 kg/kg de produto (VITRAC, 2000).

Segundo Blumenthal (1991) a água do alimento, captando a maior parte da energia térmica do óleo quente, para sua conversão de líquido a vapor, evita que o alimento se queime ou carbonize por excessiva desidratação. Enquanto houver água livre no alimento, a temperatura do interior do produto se manterá no ponto de ebulição (100°C), mesmo a altas temperaturas de trabalho.

Nos ensaios realizados, com o aumento do tempo e da temperatura de processo, ocorre uma diminuição do teor de água intensificando as reações de escurecimento não enzimático.

As equações 5, 6, 7 mostram os modelos matemáticos codificado (a) e decodificado (b) para os parâmetro L\*, b\* e a\* , respectivamente:

$$\mathbf{L^*(codificado)} = 64,2400 - 3,6005x_1 - 2,8506x_1^2 - 3,4656x_2^2 - 4,5675x_1x_2 \quad (5a)$$

$$\mathbf{L^*(decodificado)} = - 218,3530 + 3,7880T - 0,013T^2 - 0,001t^2 + 0,001Tt \quad (5b)$$

$$\mathbf{b^*(codificado)} = 37,0125 - 4,3842x_1 - 1,9288x_2 - 3,2587x_1^2 - 3,9412x_2^2 - 5,6175x_1x_2 \quad (6a)$$

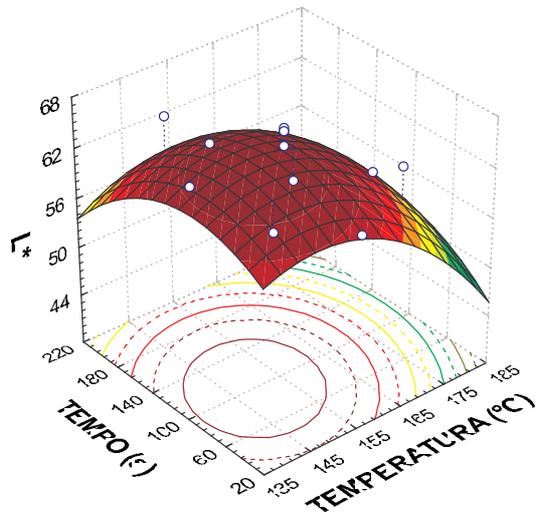
$$\mathbf{b^*(decodificado)} = - 477,0400 + 5,7280T + 1,3790t - 0,016T^2 - 0,001t^2 - 0,007Tt \quad (6b)$$

$$\mathbf{a^*(codificado)} = 7,1917 + 1,3509x_1 + 1,2776x_2 \quad (7a)$$

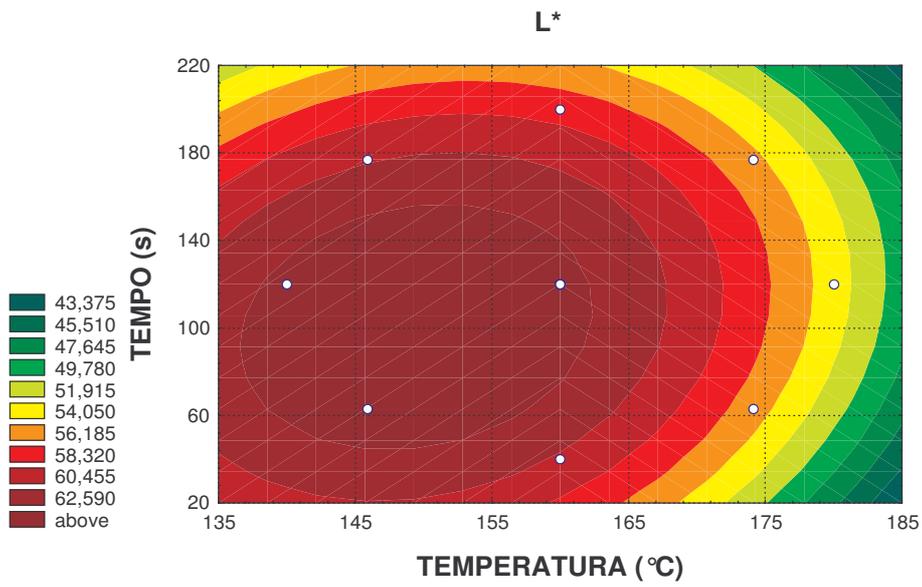
$$\mathbf{a^*(decodificado)} = - 10,8090 + 0,0956T + 0,0225t \quad (7b)$$

Onde: L\*, a\* e b\* = parâmetros de cor; x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub> = valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente; T e t = valores decodificados da temperatura (°C) e do tempo (s).

Através dos modelos decodificados foram geradas as superfícies de resposta (a) e de contorno (b), para as medidas de cor L\* (Figura 4), b\* (Figura 5) e a\* (Figura 6).

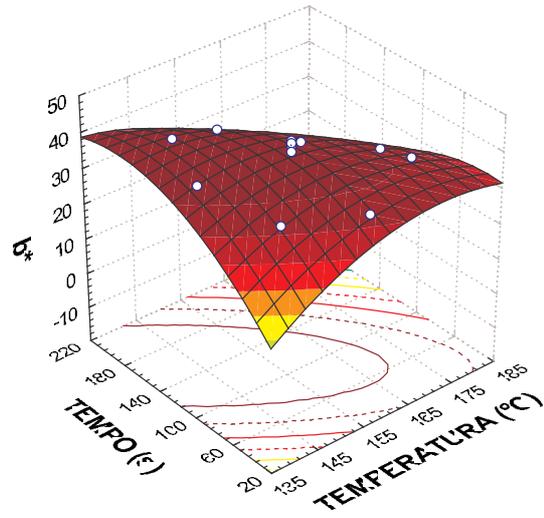


(a)

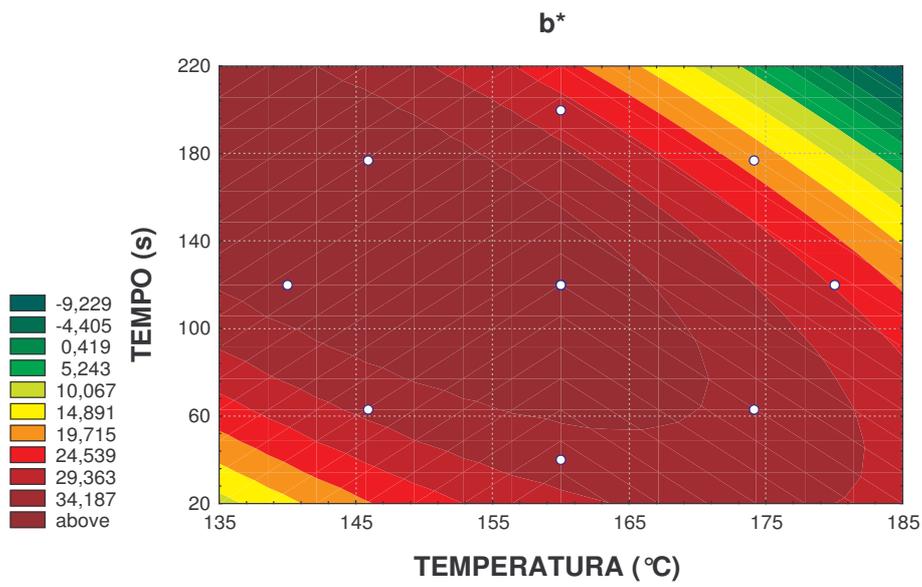


(b)

**Figura 4:** Superfície de resposta (a) e de contorno para o parâmetro  $L^*$  de cor instrumental

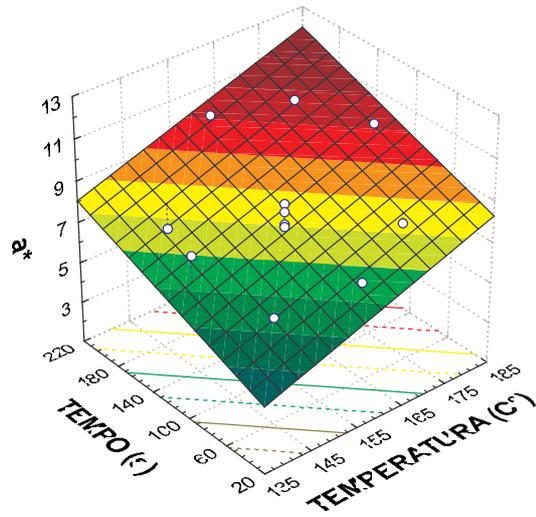


(a)

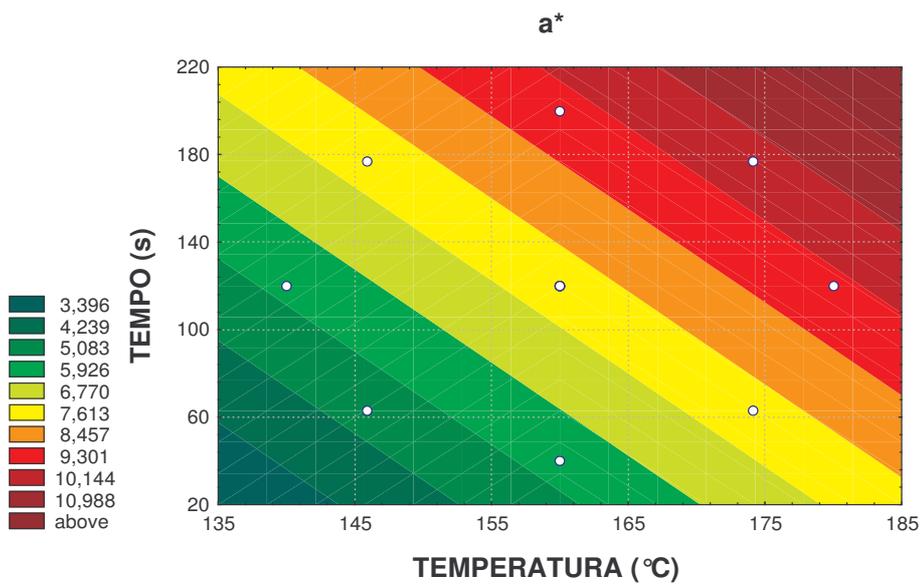


(b)

**Figura 5:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para o parâmetro  $b^*$  de cor instrumental



(a)



(b)

**Figura 6:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para o parâmetro  $a^*$  de cor instrumental

## Análise sensorial

O teste afetivo de aceitação mede quantitativamente o grau de aceitação de um produto, variando de “desgostei extremamente” (nota 1) a “gostei extremamente” (nota 9), podendo assim ser inferida a preferência de uma amostra entre as demais analisadas. É uma boa metodologia para desenvolvimento de novos produtos, pois é a aceitação do consumidor que irá determinar se o produto será ou não vendido. Os resultados do teste sensorial de aceitação dos *chips* obtidos nos ensaios de fritura estão apresentados na Tabela 6. A Tabela 7 mostra os termos descritivos de aceitabilidade das amostras mais comentados pela equipe sensorial para cada atributo avaliado. As Tabelas 8 e 9 apresentam os valores dos efeitos, coeficientes da regressão e significância estatística dos modelos ajustados. Nos anexos 7, 8, 9, 10, e 11 estão apresentados os resultados da ANOVA para o modelo ajustado.

**Tabela 6:** Resultados do teste de aceitação para os *chips* de manga obtidos através dos 12 ensaios de fritura do planejamento.

Nº ensaio (temperatura e tempo)	Aparência*	Cor*	Aroma*	Sabor*	Textura*	Intenção de Compra**
1 (145,9°C/63s)	6,5	7,5	5,9	5,2	2,6	2,1
2 (145,9°C/177s)	7,4	7,5	5,9	7,2	6,5	3,8
3 (174,1°C/63)	7,0	7,1	5,5	5,2	3,4	2,4
4 (174,1°C/177s)	2,4	2,3	4,7	4,0	6,3	2,0
5 (140°C/120s)	6,9	7,5	6,2	5,7	2,7	2,2
6 (180°C/120s)	2,9	2,7	4,3	4,6	7,0	2,3
7 (160°C/40s)	6,2	7,3	5,9	5,1	2,5	2,0
8 (160°C/200s)	4,4	3,9	5,5	6,4	6,3	3,1
9 (160°C/120s)	6,8	7,1	5,9	6,9	6,0	3,3
10 (160°C/120s)	6,9	7,2	5,8	6,7	5,2	3,2
11 (160°C/120s)	6,9	7,0	6,1	7,1	5,9	3,7
12 (160°C/120s)	7,6	7,6	6,0	7,5	7,1	3,9

\*escala hedônica de nove pontos, variando de desgostei extremamente (1) a gostei extremamente (9);\*\*escala hedônica de 5 pontos, variando de certamente não compraria (1) a certamente compraria

**Tabela 7:** Comentários mais frequentes da equipe sensorial para cada atributo avaliado nos *chips* de manga.

Ensaio	Aparência e Cor		Aroma e Sabor		Textura	
	“Mais gostei”	“Menos gostei”	“Mais gostei”	“Menos gostei”	“Mais gostei”	“Menos gostei”
1	Amarela, característica de manga,		Suave de manga	Fraco de manga		Mole, sem crocância
2	Amarela, característica de manga,		Suave de manga	Fraco de manga	Crocante	Dura
3	Amarela, característica de manga,			Óleo		Mole
4		Queimada, escura, marrom,		Óleo, queimado, amargo	Crocante	Dura
5	Amarela, característica de manga,		Suave de manga	Fraco de manga		Mole
6		Queimada, escura		Queimado, amargo, caramelo	Crocante	Dura
7	Amarela, característica de manga,		Característico de manga			Mole
8		Queimada, escura	Doce, caramelo	Óleo	Crocante	Dura
9	Amarela, característica de manga,		Manga, doce	Fraco de manga	Crocante	Dura
10	Amarela, característica de manga,		Manga	Fraco de manga		Falta crocância, dura
11	Amarela, característica de manga,		Manga, doce	Fraco de manga, óleo	Crocante	Dura, borrachenta
12	Amarela, característica de manga,		Manga, doce	Fraco de manga, óleo	Crocante	Dura, falta crocância

**Tabela 8:** Efeitos, coeficientes da regressão e análise de variância para os atributos da aceitação sensorial dos *chips* de manga.

Resposta	Fatores	Efeitos <sup>a</sup>	Coeficientes da Regressão	Erro Padrão (Erro Puro)	P	R <sup>2</sup>	F	
							Regressão <sup>b</sup>	Falta ajuste <sup>c</sup>
<i>Aparência</i>	$b_0$	7,0577	7,0577	0,1696	0,0000	0,9498	22,6990	n.s.
	Linear							
	$b_1$	-2,5609	-1,2804	0,2398	0,0017			
	$b_2$	-1,5502	-0,7751	0,2398	0,0075			
	Quadrático							
	$b_{11}$	-1,7703	-0,8852	0,2681	0,0071			
	$b_{22}$	-1,4218	-0,7109	0,2681	0,0131			
	Interação							
	$b_{12}$	-2,7956	-1,3978	0,3391	0,0038			
<i>Cor</i>	$b_0$	7,2323	7,2323	0,1207	0,0000	0,9666	34,7584	n.s.
	Linear							
	$b_1$	-3,1153	-1,5576	0,1707	0,0004			
	$b_2$	-2,4372	-1,2186	0,1707	0,0007			
	Quadrático							
	$b_{11}$	-1,7543	-0,8771	0,1909	0,0027			
	$b_{22}$	-1,2261	-0,6130	0,1909	0,0076			
	Interação							
	$b_{12}$	-2,4585	-1,2292	0,2415	0,0020			
<i>Aroma</i>	$b_0$	5,8760	5,8760	0,0508	0,0000	0,8610	16,5346	
	Linear							
	$b_1$	-1,0554	-0,5277	0,0928	0,0015			
	$b_2$	-0,3255	-0,1627	0,0928	0,0393			
	Quadrático							
	$b_{11}$	-0,6552	-0,3276	0,1016	0,0076			
	$b_{22}$	n.s.						
	Interação							
	$b_{12}$	n.s.						

<sup>a</sup> parâmetros significativos a  $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> regressão significativa a  $p < 0,05$ ; <sup>c</sup> falta de ajuste do modelo não significativa a  $p < 0,05$ .

**Tabela 9:** Efeitos, coeficientes da regressão e análise de variância para os atributos da aceitação sensorial dos *chips* de manga.

Atributo	Efeito	Análise de Variância				Regressão <sup>b</sup>		Falta
		F <sub>0,1</sub> <sup>a</sup>	C <sub>0,1</sub> <sup>a</sup>	F <sub>0,1</sub> <sup>a</sup>	P <sub>0,1</sub> <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	F	
<i>Sabor</i>	$b_0$	7,0683	7,0683	0,1690	0,0000	0,8855	13,5328	n.s.
	Linear							
	$b_1$	-1,1671	-0,5836	0,2390	0,0164			
	$b_2$	n.s.*						
	Quadrático							
	$b_{11}$	-1,9178	-0,9589	0,2672	0,0056			
	$b_{22}$	-1,3462	-0,6731	0,2672	0,0151			
	Interação							
	$b_{12}$	-1,6174	-0,8087	0,3379	0,0173			
<i>Textura</i>	$b_0$	5,1425	5,1425	0,2336	0,0002	0,5243	11,0236	n.s.
	Linear							
	$b_1$	n.s.						
	$b_2$	3,0656	1,5328	0,5722	0,0127			
	Quadrático							
	$b_{11}$	n.s.						
	$b_{22}$	n.s.						
	Interação							
	$b_{12}$	n.s.						
<i>Intenção de</i>	$b_0$	3,1829	3,1829	0,1372	0,0002	0,2869	n.s.	n.s.
	Linear							
	$b_1$	n.s.						
	$b_2$	n.s.						
	Quadrático							
	$b_{11}$	-1,0395	-0,5197	0,2745	0,0323			
	$b_{22}$	n.s.						
	Interação							
	$b_{12}$	n.s.						

<sup>a</sup> parâmetros significativos a  $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> regressão significativa a  $p < 0,05$ ; <sup>c</sup> falta de ajuste do modelo não significativa a

### **Aceitação sensorial da aparência e da cor**

A aceitação sensorial da aparência e da cor das amostras foi afetada significativamente pelo tempo e pela temperatura, sendo todos os parâmetros (lineares, quadráticos e de interação) dos modelos negativos e significativos ( $p < 0,05$ ), indicando que um aumento nos mesmos leva a uma diminuição da aceitação destes atributos sensoriais. Quando são utilizadas altas temperaturas e longo tempo de fritura reações de escurecimento não enzimático (reação de Maillard, caramelização) são intensificadas, resultando em perda da coloração amarela inicial da matéria-prima e desenvolvimento de cor escura, até queimada, no produto. A similaridade entre os dois modelos obtidos indica que a cor foi fator primordial na aceitação da aparência dos *chips*.

Os modelos matemáticos codificado (a) e decodificado (b) para a aceitação sensorial da aparência e da cor dos *chips* estão apresentados nas Equações 8 e 9, respectivamente:

$$\mathbf{Ap(codificado)} = 7,0577 - 1,2804x_1 - 0,7751x_2 - 0,8852x_1^2 - 0,7109x_2^2 - 1,3978x_1x_2 \quad (8a)$$

$$\mathbf{Ap(decodificado)} = -126,574 + 1,533T + 0,318t - 0,004T^2 - 0,000t^2 - 0,002Tt \quad (8b)$$

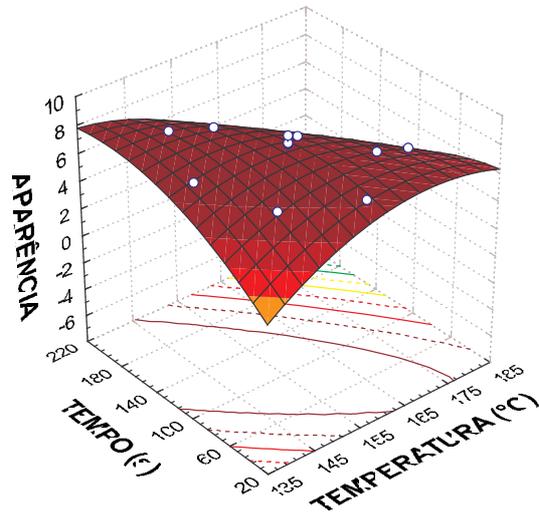
$$\mathbf{Cor(codificado)} = 7,2323 - 1,5576x_1 - 1,2186x_2 - 0,8771x_1^2 - 0,6130x_2^2 - 1,2292x_1x_2 \quad (9a)$$

$$\mathbf{Cor(decodificado)} = -116,879 + 1,476x_1 + 0,269x_2 - 0,004x_1^2 - 0,000x_2^2 - 0,002x_1x_2 \quad (9b)$$

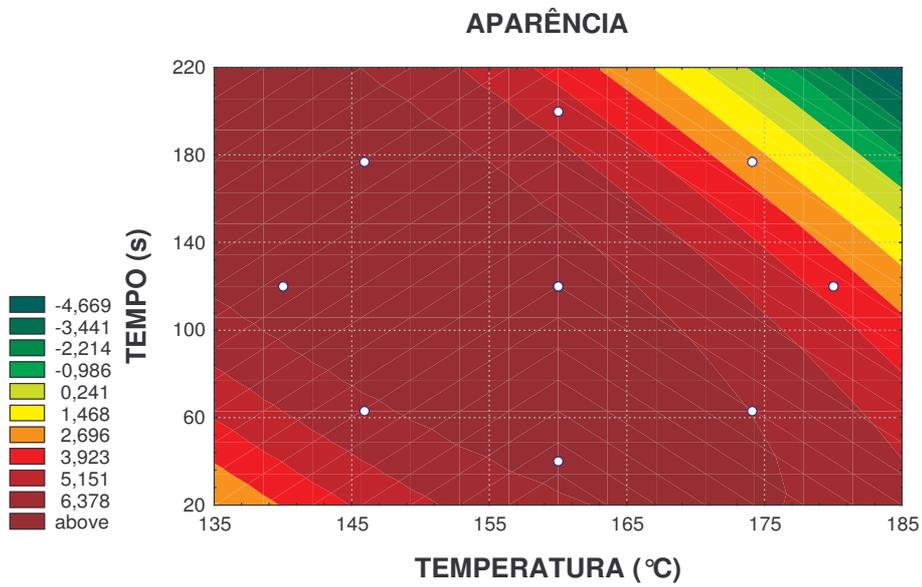
Onde: Ap = aceitação da aparência; Cor = aceitação da cor;  $x_1$ ,  $x_2$  = valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente; T e t = valores decodificados da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e do tempo (s).

As Figuras 7a e 7b mostram as superfícies de resposta e de contorno para a aceitação sensorial da aparência, e as Figuras 8a e 8b, as superfícies de resposta e de contorno para a aceitação sensorial da cor dos *chips*. Pode-se verificar a região de aceitação máxima da aparência e da cor dos *chips*, representada pela faixa de temperatura entre  $145^{\circ}\text{C}$  (utilizando valores de tempo superiores a 100s) e  $170^{\circ}\text{C}$  (para tempo inferior a 100s). Nesta região estão os ensaios 1, 2, 3, 5, 7 e referentes ao ponto central, 9, 10, 11 e

12.



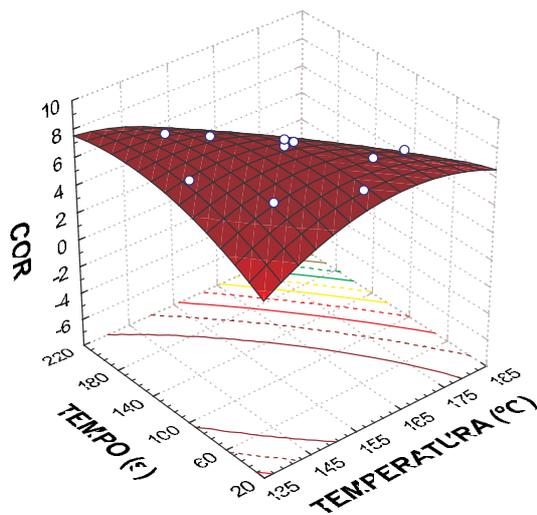
(a)



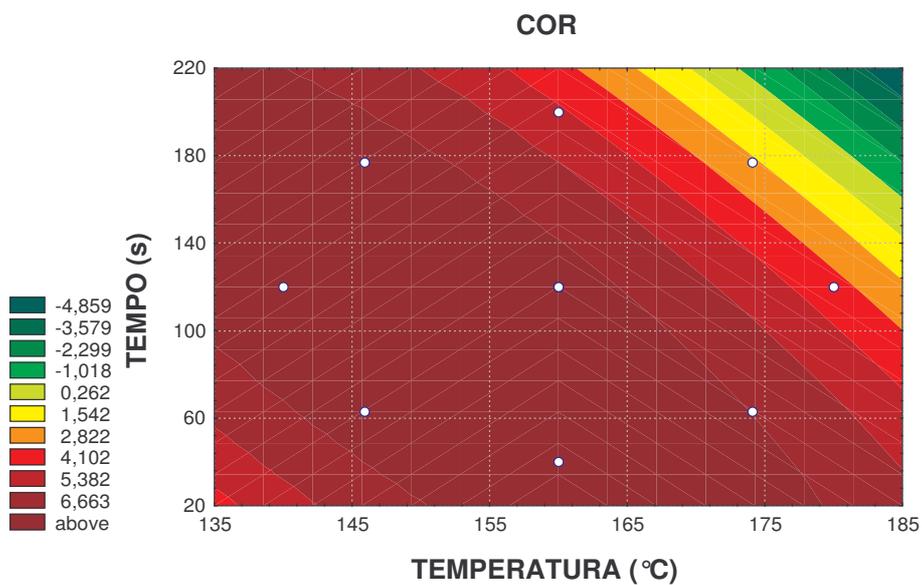
(b)

167

**Figura 7:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para aceitação da aparência



(a)



(b)

**Figura 8:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para aceitação da cor

### Aceitação sensorial do aroma e do sabor

Tanto a aceitação do aroma como a aceitação do sabor dos *chips* de manga sofreram efeito negativo significativo ( $p < 0,05$ ) das variáveis tempo e temperatura de processo.

No caso do aroma, os efeitos quadrático do tempo ( $b_{22}$ ) e da interação entre as variáveis ( $b_{12}$ ) não foram são significativos a  $p < 0,05$ , e no caso do sabor, o efeito linear do tempo ( $b_2$ ). Todos os outros parâmetros dos modelos foram significativos e negativos, indicando que o aumento das variáveis resultou em diminuição da aceitação dos dois atributos pela equipe sensorial. Altas temperaturas e longo tempo de processo resultam em perda dos compostos aromáticos da fruta e maior desenvolvimento das reações de escurecimento não enzimático (Maillard e caramelização) que além de produzirem as melanoidinas, são formados compostos de sabor desagradáveis, dando notas de queimado, amargo, como verificado pelos comentários dos provadores (Tabela 7).

Os modelos matemáticos codificado (a) e decodificado (b) para a aceitação sensorial do aroma e do sabor dos *chips*, estão apresentados nas Equações 10 e 11, respectivamente:

$$\text{Arom(codificado)} = 5,8759 - 0,5277x_1 - 0,1627x_2 - 0,3276x_1^2 \quad (10a)$$

$$\text{Arom(decodificado)} = -29,7636 + 0,4872T - 0,0029t - 0,0016T^2 \quad (10b)$$

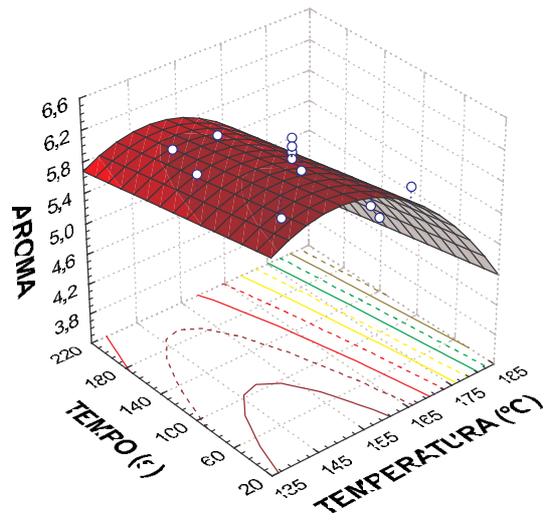
$$\text{Sab(codificado)} = 7,0683 - 0,5835x_1 - 0,9589x_1^2 - 0,6731x_2^2 - 0,8087x_1x_2 \quad (11a)$$

$$\text{Sab(decodificado)} = -101,187 + 1,388T - 0,005T^2 - 0,000t^2 - 0,000Tt \quad (11b)$$

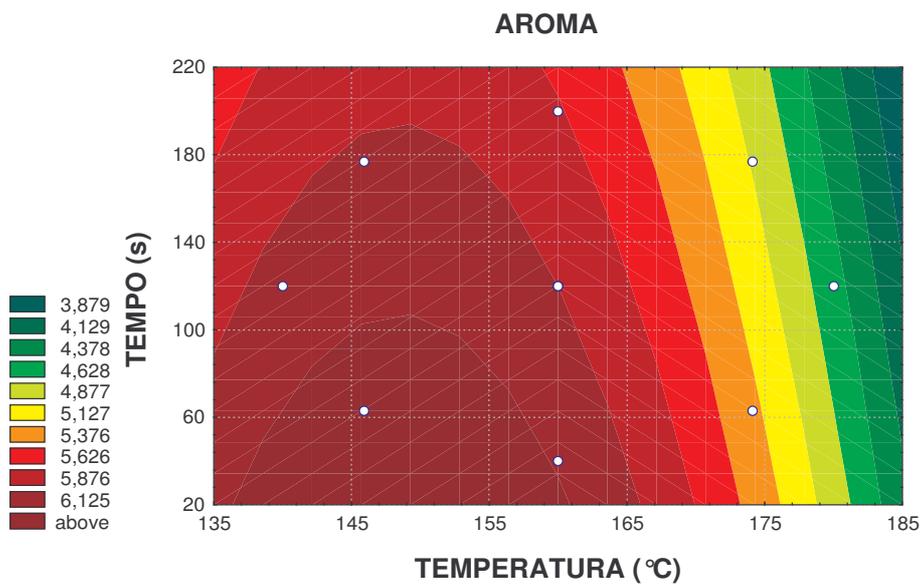
Onde: Arom = aceitação do aroma; Sab = aceitação do sabor;  $x_1$ ,  $x_2$  = valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente; T e t = valores decodificados da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e do tempo (s).

As Figuras 9 e 10 mostram as superfícies de resposta (a) e de contorno (b) para a aceitação sensorial do aroma e do sabor, respectivamente. Pode-se verificar a região de aceitação máxima do sabor, representada pela faixa de temperatura entre 145 e 165 $^{\circ}\text{C}$ , e de tempo entre 80 e 200s, dentro da qual está o ensaio referente ao ponto central do

planejamento.

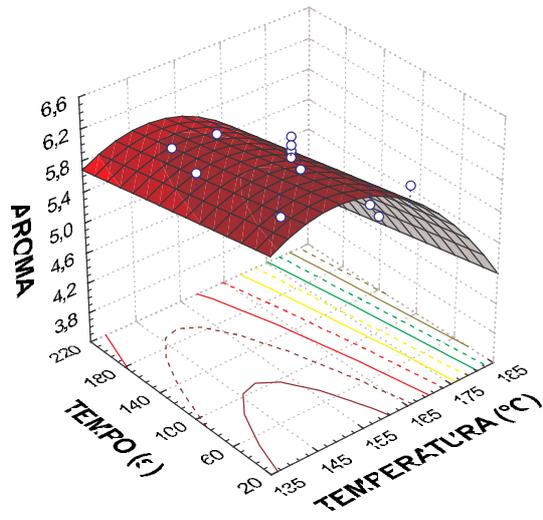


(a)

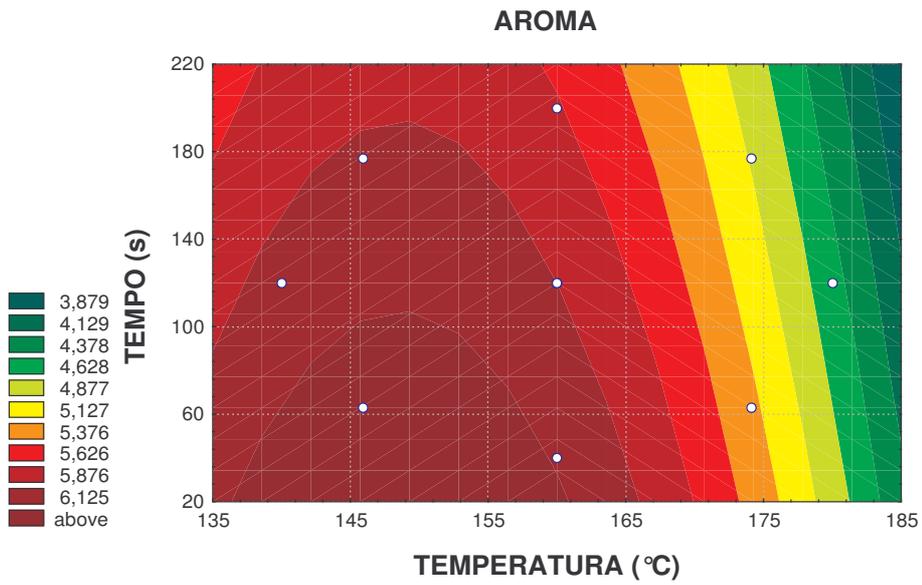


(b)

**Figura 9:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para aceitação do aroma



(a)



(b)

**Figura 10:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para aceitação do sabor

### **Aceitação sensorial da textura**

Apenas o efeito linear do tempo ( $b_2$ ) foi significativo a  $p < 0,05$ . Por ser positivo, o aumento linear deste parâmetro leva a um aumento da aceitação sensorial da textura dos *chips*. A textura adequada dos *chips* pode ser obtida em qualquer temperatura de fritura (140 a 180°C), desde que submetidos a períodos prolongados de tempo, acima de 140s. Maior tempo de residência leva a menor teor de umidade, fundamental para a textura crocante dos *chips*. Os comentários descritos na Tabela 7 confirmam esta afirmação, uma vez que os *chips* menos aceitos pelos provadores neste atributo sensorial foram aqueles considerados “moles”.

O modelo apresentou regressão significativa ( $p < 0,05$ ), falta de ajuste não significativa ( $p < 0,05$ ); porém o coeficiente de determinação  $R^2$  para o modelo foi baixo, explicando apenas 52%; assim, deve-se utilizar o modelo com bastante ressalva, apenas para se observar a tendência do efeito.

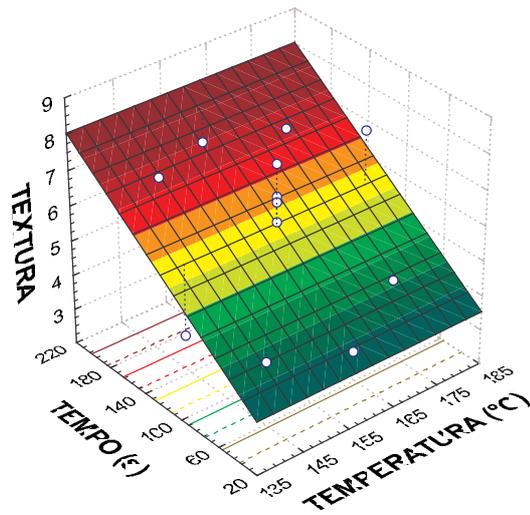
Os modelos matemáticos codificado (a) e decodificado (b) para a aceitação sensorial da textura dos *chips*, estão apresentados na Equação 12:

$$\text{Text(codificado)} = 5,1425 + 1,5328x_2 \quad (12a)$$

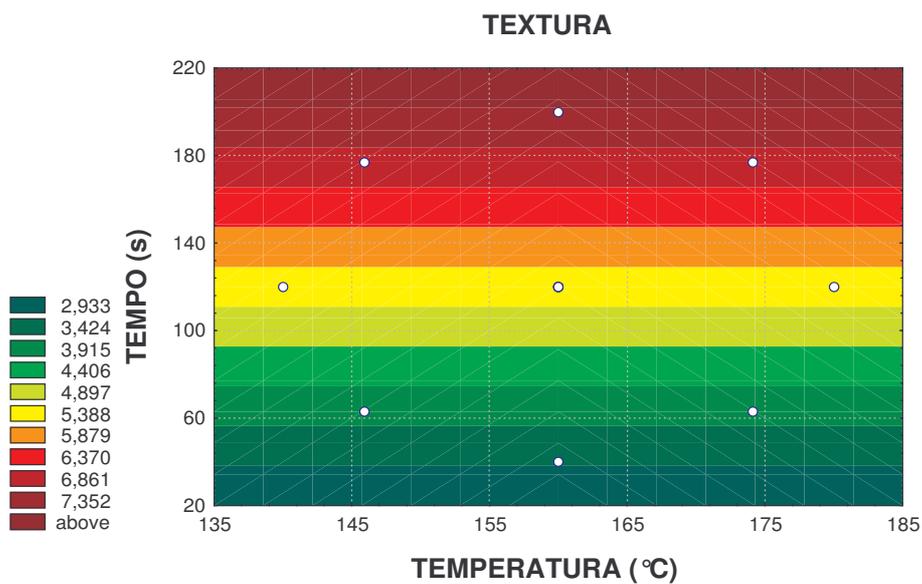
$$\text{Text(decodificado)} = 1,9019 + 0,0270t \quad (12b)$$

Onde: Text = aceitação da aparência;  $x_1$ ,  $x_2$  = valores codificados da temperatura e do tempo, respectivamente; T e t = valores decodificados da temperatura (°C) e do tempo (s).

Através do modelo decodificado foram geradas as superfícies de resposta e de contorno, apresentadas na Figura 11.



(a)



(b)

**Figura 11:** Superfície de resposta (a) e de contorno (b) para aceitação da textura

## **Intenção de compra**

Verifica-se pela Tabela 9 que apenas o efeito quadrático da temperatura é significativo a  $p < 0,05$ . Porém, quando foram eliminados os efeitos não significativos, o modelo não apresentou regressão significativa ( $p < 0,05$ ), não podendo-se assim tirar conclusões a respeito da influência deste parâmetro na intenção de compra dos *chips* pela equipe.

## **Escolha das faixas de tempo e temperatura**

De acordo com os resultados obtidos, as amostras referentes aos ensaios 1, 3, 5 e 7 apresentaram alto teor de umidade, entre resultando em uma baixa aceitação sensorial da textura pelos provadores; parâmetros de cor  $L^*$  e  $b^*$  altos, que resultaram em uma boa aceitação da aparência e cor dos *chips*; e teores de óleo mais baixos em relação às outras amostras, devido ao teor de umidade elevado.

As amostras dos ensaios 4, 6 e 8, com teor de umidade inferior a 2,2 % e uma textura crocante como atestada pelos comentários da equipe sensorial, resultando numa aceitação melhor deste atributo em relação às outras amostras, apresentaram coloração escura (valores baixos de luminosidade) e tiveram uma baixa aceitação dos atributos sensoriais de aparência e cor pelos provadores, bem como do aroma e sabor.

As amostras 2 e do ponto central, 9, 10, 11 e 12, apresentaram teores de umidade entre 5 e 7,5 %, coloração amarela, e boa aceitação geral em todos os atributos.

Para se decidir a melhor faixa do binômio tempo x temperatura para o processo de fritura, considerando as melhores características dos *chips* obtidos, foram considerados as respostas: teor de umidade, aceitação sensorial da cor, do sabor e da textura. A resposta intenção de compra seria bastante interessante para determinação da escolha da faixa, pois revela a aceitação conjunta de todos os atributos, porém não foi possível tirar conclusões estatísticas sobre os efeitos dos fatores sobre esta resposta.

Fixando um teor baixo de umidade como característica mais importante de produtos tipo *chips*, pois além de conferir textura crocante típica deste tipo de produto, é necessário para assegurar estabilidade microbiológica, verifica-se através da superfície de contorno (Figura) que é obtido a partir de valores de temperatura superiores a 155°C e tempo superior a 160s. Sobrepondo esta área à superfície de contorno de outras características importantes e necessárias nos *chips*, como a aceitação da cor e do sabor (superiores a nota 6, ou gostei ligeiramente), a região ótima corresponde às faixas de temperatura de 155 a 165°C e de tempo de 140 a 180 s.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pela Metodologia de Superfície de Resposta mostraram que o tempo e a temperatura influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) quase todas as respostas estudadas. O teor de umidade, os parâmetros de cor  $L^*$  (luminosidade) e  $b^*$  (amarelo), diminuíram com o aumento das variáveis, enquanto que o teor de lipídeos e o parâmetro de cor  $a^*$  (vermelho) aumentaram com o aumento dos fatores.

Para a aceitação sensorial, os atributos aparência, cor, sabor e aroma sofreram influência negativa das variáveis do processo, indicando que o aumento do tempo e da temperatura resultou em menor aceitação dos *chips* pela equipe de provadores. O aumento do tempo de fritura levou a uma melhor aceitação sensorial da textura dos *chips*.

Estipulando-se as respostas teor de umidade (relacionada à característica de crocante, desejável neste tipo de produto) e aceitação da cor e do sabor dos *chips*, escolhidas para se determinar a faixa ótima de trabalho e fazendo-se a sobreposição das respectivas superfícies de contorno, determinou-se a faixa de 155 a 165°C e 140 a 180 s como ótima de trabalho, levando a *chips* com umidade inferior a 7% e aceitação dos atributos superior a “gostei ligeiramente”.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y.; YUSOF, S.; RAHMAN, R. Effects of variety and stage of fruit ripeness on the physicochemical and sensory characteristics of deep-fat fried banana chips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1166-1171, 2001.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th. ed. Gaithersburg: AOAC, 1997.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1996. 278 p.

BAUMANN, B.; ESCHER, F. Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 28, p. 395-403, 1995.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

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

BLUMENTHAL, M. M.; STIER, R. F. Optimisation of deep fat frying operations. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, n. 3, p. 144-148, 1991.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Introdução à química dos alimentos**. 3. ed. São Paulo:

Varela, 2001, 143 p.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experiments. An introduction to design, data analysis and model building.** New York: John Wiley & Sons Inc., 1978.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Disponível em: [http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?mode=PRINT\\_VERSION&id=12546](http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?mode=PRINT_VERSION&id=12546). Acesso em: 9 maio 2005.

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**, v. 79, p. 291-299, 1999.

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

GARAYO, J.; MOREIRA, R. Vacuum frying of potato chips. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 181-191, 2002.

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.

MOREIRA, R.G.; CASTELL-PEREZ, M. E.; BARRUFET, M. A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 350 p.

MOREIRA, R. G.; SUN, X.; CHEN, Y. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 485-498, 1997.

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

PINTHUS, E. J.; WEINBERG, P.; SAGUY, I. S. Deep-fat fried potato product oil uptake affect by crust physical properties. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 4, p. 770-772, 1995 (a).

PINTHUS, E. J.; WEINBERG, P.; SAGUY, I. S. Oil uptake in deep-fat frying as affected by porosity. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 4, p. 767-769, 1995 (b).

REYNES, M.; AYMARD, C.; AW, B. Production de chips d'ananas par le procédé combiné deshydratation osmotique-friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 139-150, 1997.

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.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. London: Academic Press, 1993.

TOREZAN, G. A. P.; MENEZES, H. C. Efeito do uso de diferentes pré tratamentos de desidratção osmótica na qualidade final de *chips* de manga: aceitação sensorial. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 19., 2004, Recife. **Anais...** 1CD-ROM. (a).

TOREZAN, G. A P.; MENEZES, H. C. Efeito do uso de diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica na qualidade final de *chips* de manga: teores de sólidos totais, de lipídeos e parâmetros de cor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 19., 2004, Recife. **Anais...** 1CD-ROM. (b).

TOREZAN, G. A P.; PAULO DE CAMPOS CARNEIRO FAVARETO, P. C. C.; PALLET, D. ; MENEZES, H. C. Osmotic dehydration of mango: effects of temperature and process time. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, São Paulo. **Proceedings...**, v. C, p. 2165-2172.

VITRAC, O. **Caractérisation expérimentale et modélisation de l'opération de friture.** 2000. 326 p. Tese (Doctorat en Génie de Procédés) - École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, França, 2000.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A. L. Deep-fat frying of cassava: influence of raw material properties on chip quality. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 227-236, 2000 (a).

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 Lipide Technology**, v. 102, p. 529-538, 2000 (b).

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A. L. Characterization 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.

## Anexos

### 1. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado do teor de umidade

Causa de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>(calculado)</sub>	F <sub>(tabelado)</sub>
Regressão	1136,3930	4	284,0982	91,3528*	4,12
Resíduos	21,7690	7	3,1099		
Falta de ajuste	17,6630	4	4,4157	3,2263**	9,12
Erro puro	4,1060	3	1,3687		
Total	1158,1620	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

### 2. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado do teor de lipídeos em base úmida

Causa de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>(calculado)</sub>	F <sub>(tabelado)</sub>
Regressão	162,7097	2	81,3548	32,9238*	4,26
Resíduos	22,2388	9	2,4710		
Falta de ajuste	17,9377	6	2,9896	2,0852**	8,94
Erro puro	4,3011	3	1,4337		
Total	184,9485	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

### 3. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado do teor de lipídeos em base seca

Causa de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>(calculado)</sub>	F <sub>(tabelado)</sub>
Regressão	116,1869	2	58,0934	26,9424*	4,26
Resíduos	19,4059	9	2,1562		
Falta de ajuste	15,7483	6	2,6247	2,1528**	8,94
Erro puro	3,6576	3	1,2192		
Total	135,5928	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$

( $p < 0,05$ )

4. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado do parâmetro L\*

Causa de variação	SQ	GL	MQ	$F_{(\text{calculado})}$	$F_{(\text{tabelado})}$
Regressão	295,0581	4	73,7645	32,8441*	4,12
Resíduos	15,7212	7	2,2459		
Falta de ajuste	11,8954	4	2,9738	2,3318**	9,12
Erro puro	3,8258	3	1,2753		
Total	310,7793	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

5. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado do parâmetro b\*

Causa de variação	SQ	GL	MQ	$F_{(\text{calculado})}$	$F_{(\text{tabelado})}$
Regressão	449,8596	5	89,9719	29,5853*	4,39
Resíduos	18,2466	6	3,0411		
Falta de ajuste	10,1801	3	3,3934	1,2620**	9,28
Erro puro	8,0665	3	2,6888		
Total	468,1062	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

6. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado do parâmetro a\*

Causa de variação	SQ	GL	MQ	$F_{(\text{calculado})}$	$F_{(\text{tabelado})}$
Regressão	27,6581	2	13,8290	14,4805*	4,26
Resíduos	8,5951	9	0,9550		
Falta de ajuste	7,4158	6	1,2360	3,1442**	8,94
Erro puro	1,1793	3	0,3931		
Total	36,2532	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

7. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado da aceitação sensorial da aparência

Causa de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>(calculado)</sub>	F <sub>(tabelado)</sub>
Regressão	32,6524	5	6,5305	22,6990*	4,39
Resíduos	1,7260	6	0,2877		
Falta de ajuste	1,3810	3	0,4603	4,0023**	9,28
Erro puro	0,3450	3	0,1150		
Total	34,33784	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

8. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado da aceitação sensorial da cor

Causa de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>(calculado)</sub>	F <sub>(tabelado)</sub>
Regressão	43,5351	5	8,7070	34,7584*	4,39
Resíduos	1,5031	6	0,2505		
Falta de ajuste	1,3281	3	0,4427	7,5935**	9,28
Erro puro	0,1749	3	0,0583		
Total	45,0381	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

9. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado da aceitação sensorial do aroma

Causa de variação	SQ	GL	MQ	F <sub>(calculado)</sub>	F <sub>(tabelado)</sub>
Regressão	3,1549	3	1,0516	16,5346*	4,07
Resíduos	0,5092	8	0,0636		
Falta de ajuste	0,4575	5	0,0915	5,3142**	9,01
Erro puro	0,0516	3	0,0172		

Total	3,6642	11
-------	--------	----

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

10. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado da aceitação sensorial do sabor

Causa de variação	SQ	GL	MQ	$F_{\text{(calculado)}}$	$F_{\text{(tabelado)}}$
Regressão	12,7698	4	3,1924	13,5328*	4,12
Resíduos	1,6515	7	0,2359		
Falta de ajuste	1,3089	4	0,3272	2,8651**	9,12
Erro puro	0,3426	3	0,1142		
Total	14,4213	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ )

11. Resultados da análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado da aceitação da textura

Causa de variação	SQ	GL	MQ	$F_{\text{(calculado)}}$	$F_{\text{(tabelado)}}$
Regressão	18,7964	1	18,7964	11,0236*	4,96
Resíduos	17,0515	10	1,7051		
Falta de ajuste	15,0870	7	2,1553	3,2915**	8,89
Erro puro	1,9645	3	0,6548		
Total	35,8479	11			

\*regressão significativa com  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ; \*\* falta de ajuste não significativa com  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$  ( $p < 0,05$ ).

**CAPÍTULO 7:**  
**INFLUÊNCIA DA VARIEDADE E DO ESTADO DE MATURAÇÃO NA**  
**QUALIDADE FINAL DE *CHIPS* DE MANGA<sup>7</sup>**

**RESUMO**

O objetivo deste estudo foi avaliar as características de *chips* de manga - teores de umidade e lipídeos, parâmetros de cor e textura (fraturabilidade) – de duas cultivares diferentes, Tommy Atkins e Palmer, e em três estágios de maturação, verde, “de vez” e maduro, obtidos pela combinação dos processos de desidratação osmótica e fritura, e sua aceitabilidade sensorial. Os atributos sensoriais (aparência, cor, aroma, sabor, textura, através de escala hedônica de nove pontos; e intenção de compra, através de escala hedônica de cinco pontos), foram avaliados por uma equipe sensorial de 33 provadores. Os resultados mostraram um alto teor de umidade para os *chips* de manga madura (13 % para Palmer e 17 % para Tommy Atkins), resultando em falta de textura crocante típica de produtos tipo *chips*. Em geral, para as duas cultivares estudadas, mangas verde e “de vez” resultaram em chips de melhor qualidade, como baixo teor de umidade e lipídeos, com maiores luminosidade (mais claros) e aceitação sensorial.

**Palavras-chave:** Tommy Atkins, Palmer, textura, fritura, desidratação osmótica

**SUMMARY**

---

<sup>7</sup>Artigo a ser enviado à Revista Brasileira de Fruticultura

The aim of this work was to evaluate mango chip characteristics (moisture and lipid contents, colour parameters and texture (breaking force) of two different cultivars - Tommy Atkins and Palmer- at three ripeness stages - mature green, half ripe and ripe - obtained by the combination of osmotic dehydration and deep fat frying, and their sensory acceptance. The sensory attributes (appearance, colour, flavour, taste, texture, using a nine-point hedonic scale; and purchase content, by a five-point hedonic scale) were evaluated by a 33 member consumer panel. The results showed that the ripe mango chips presented high moisture contents (13% Palmer and 17% Tommy Atkins), resulting in a lack of the typical crispy texture. In general, for the two cultivars studied, mature green and half ripe mangoes resulted in better quality characteristics of the chips, such as lower moisture content and greater luminosity and sensory acceptance.

**Keywords:** Tommy Atkins, Palmer, texture, deep fat frying, osmotic dehydration

## INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) além de possuir apreciação de destaque dentre as frutas tropicais em todo o mundo, devido principalmente ao seu sabor exótico, sua cor atrativa e seu valor nutritivo (vitaminas A e C, ferro, sódio e potássio, fibras solúveis e insolúveis) (STAFFORD, 1983), é uma matéria-prima barata e presente em abundância no Brasil.

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de manga, com uma área cultivada de cerca de 68 mil hectares e uma produção de mais 900 mil toneladas (BRASIL, 2005a,b). O Nordeste é a maior região, com destaque para as áreas irrigadas do Vale do São Francisco, no eixo Petrolina (Bahia) e Juazeiro (Pernambuco), que no ano de 2000 foi responsável por mais de 24% da produção e cerca de 80% das exportações nacionais (PIRES, ALVES e SÃO JOSÉ, 2004).

Atualmente as cultivares de manga predominantes no Brasil são originárias da Flórida (EUA), introduzidas na década de 1970 através do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), entre elas a Tommy Atkins, Keit, Palmer, Haden e Van Dyken (SOARES, 2000). A cultivar de maior importância comercial é a Tommy Atkins, devido à sua boa produtividade, boa capacidade de adaptação a diferentes ambientes de cultivo, maior tolerância a doenças (oídio, antracnose e verrugose), apresentar frutos com boa qualidade e boa conservação pós-colheita (CARVALHO *et al.*, 2004). Cerca de 79 % da área nacional cultivada é concentrada no cultivar Tommy Atkins, sendo a área restante cultivada com Haden, Palmer e Keitt, e outras variedades brasileiras como Espada, Rosa, Bourbon e Ubá (PINTO *et al.*, 2004). Segundo Carvalho e outros (2004), as cultivares Palmer e Tommy Atkins apresentam altos rendimentos de polpa (>80%).

Mesmo com o empenho atual dos produtores em aumentar a qualidade da manga exigida para exportação, um considerável percentual da produção ainda não alcança os padrões de qualidade, que associado ao baixo aproveitamento da matéria-prima e problemas com estocagem da mesma para atender às necessidades da indústria em período

de entresafra, decorre em perdas (SOUZA FILHO *et al.*, 1998).

Assim, o desenvolvimento de novos produtos visando o uso desta fruta é de grande interesse para a economia nacional, uma vez que agrega valor ao produto, utilizando o grande excedente da produção não destinada à exportação.

A aplicação do processo combinado desidratação osmótica e fritura para produção de *chips* de manga representa uma tecnologia para uso desta matéria-prima, sendo uma outra opção para este tipo de produto, processado tradicionalmente a partir de matérias-primas rica em amido, como banana (AMMAWATH *et al.*, 2001), plátano (*Musa paradisiaca* L.) (DIAZ *et al.*, 1996; TRELEA *et al.*, 1997; DIAZ *et al.*, 1999) e mandioca (VITRAC, DUFOUR e RAOULT-WACK, 1997; GRIZOTTO, 2000).

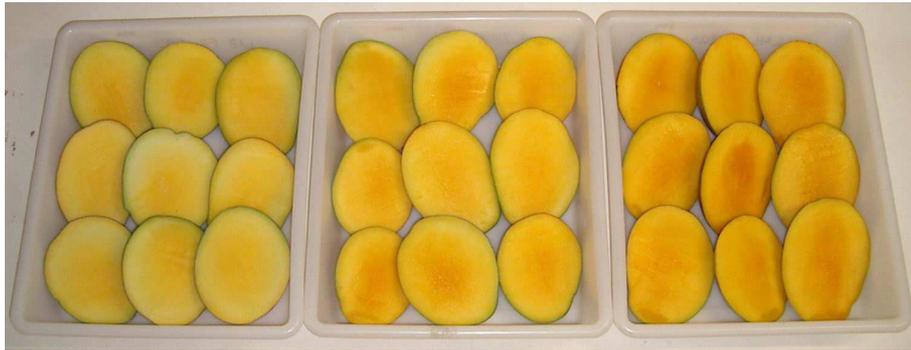
Fora do âmbito acadêmico, comercialmente no Brasil os *chips* de frutas existentes obtidos pelo processo de fritura são aqueles de banana, geralmente produzidos por pequenas empresas e muitas vezes de forma artesanal. *Chips* (fritos) de maçã existem em mercados externos, como americano, apresentando uma forte tendência à expansão, podendo ser utilizadas outras frutas, como as tropicais, que apresentam grande aceitação.

Este estudo teve a finalidade de verificar o efeito das características da matéria-prima nas características finais dos *chips* de manga, utilizando manga das cultivares Tommy Atkins e Palmer nos pontos de maturação, verde, “de vez” e maduro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

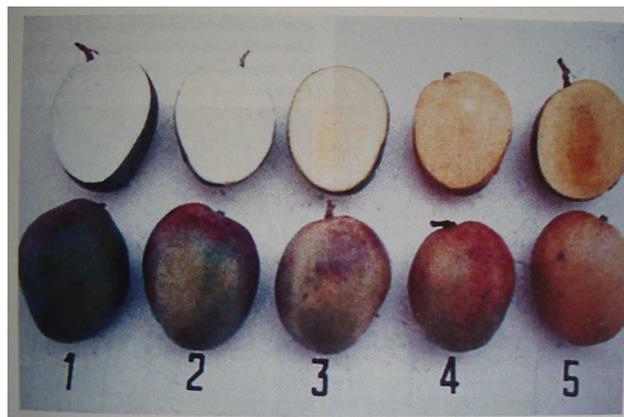
Mangas das cultivares Tommy Atkins e Palmer, nos estágios de maturação verde, “de vez” e maduro (Figuras 1 e 2, respectivamente), foram adquiridas no Ceasa de Campinas-SP.



**Figura 1:** Mangas Tommy Atkins nos estados de maturação verde, “de vez” e maduro (da esquerda para a direita).



**Figura 2:** Mangas Palmer nos estados de maturação verde, “de vez” e maduro (da esquerda para a direita).



**Figura 3:** Classificação de manga segundo GTZ (1992).Fonte: Embrapa (2000).

De acordo com a classificação de GTZ (1992) (*citado por* EMBRAPA, 2000) para o ponto de colheita de mangas, as variações da cor da polpa são as seguintes:

1. Cor creme: a polpa apresenta a cor creme por completo, podendo variar de creme-claro a creme escuro. Não se deve confundir a cor creme com a cor branca.
2. Mudanças da cor creme: há uma mudança em até 30 % da área com cor creme para a cor amarela, partindo do centro do fruto.
3. Amarelo: corresponde de 30 % a 60 % da polpa com cor amarela.
4. Amarelo-laranja: corresponde a mais de 60% da cor amarela e menos de 30% da cor laranja.
5. Laranja: corresponde a mais de 90% da cor laranja.

Assim, as mangas consideradas nos pontos de maturação verde e maduro, corresponderiam aos números 3 e 5 da escala subjetiva de cor (Figura 3), enquanto que as mangas no ponto intermediário “de vez” corresponderiam a uma coloração entre os números 3 e 4 da escala subjetiva de cor.

As frutas foram cortadas longitudinalmente em duas metades rentes ao caroço, e cada metade fatiada transversalmente em cortador elétrico na espessura de 3mm, mantendo-se a casca.

Como agente osmótico foi utilizada sacarose comercial e para o processo de fritura óleo de palma refinado (Grupo Agropalma), com a composição nos principais ácidos graxos sendo: 44% ácido oleico (C18:1), 38% ácido palmítico (C16:0), 10% ácido linoleico (C18:2) e 4,5% ácido esteárico (C18:1).

## **Desidratação Osmótica**

A desidratação osmótica das fatias de manga, utilizada como pré tratamento ao processo de fritura, foi realizada em um equipamento tipo *shaker* (MARCONI, modelo MA 830), nas seguintes condições de processo: temperatura de 40°C, tempo de 80 minutos, agitação de 200 rpm, proporção de fruta e solução de sacarose a 65°Brix de 1:4 (p/p), ou seja, 400g de fatias de manga e 1600g de solução osmótica. Estas condições foram determinadas em estudos realizados previamente por Torezan e Menezes (2004 a, b), Torezan *et al.* (2004). Ao final do processo, as fatias foram enxaguadas para remoção da solução da superfície e secas manualmente com papel absorvente.

No caso das matérias-primas maduras, como não foi possível seguir o mesmo procedimento estipulado anteriormente, utilizando-se agitação de 200 rpm, uma vez que o tecido da manga não suportava e praticamente se dissolvia na solução osmótica, procedeu-se a desidratação osmótica sem agitação, encubando-se os erlenmeyers que continham o material em estufas à mesma temperatura (40°C), sendo necessário aumentar o tempo para 5 horas para se obter um valor aproximado do teor de sólidos totais obtido no processo com agitação.

## **Fritura**

As fatias de manga previamente desidratadas foram submetidas ao processo de fritura em fritadeira elétrica (modelo F25, Croydon, Brasil) equipada com controlador de temperatura (tipo E5GN-Q1TC, Omron), à temperatura de 160°C por 3 minutos, como determinado previamente (Capítulo 6), utilizando a proporção de fruta e óleo de 1:40 (p/p), ou seja, 250 g de manga desidratada osmoticamente e 10 kg de óleo de palma refinado (Capítulo 2). O excesso de óleo foi retirado através de centrifugação (1800 rpm ou 400 xg) (centrífuga doméstica, Mueller Eletrodomésticos, Brasil). Os *chips* foram embalados em sacos de polietileno e armazenados a -18°C até serem analisados.

## **Determinações analíticas na manga *in natura* e nos *chips***

*pH*: utilizando pHmetro.

**Sólidos totais e umidade**: os teores de sólidos totais e umidade foram determinados através de secagem das amostras em estufa a vácuo a 70°C, até peso constante de acordo com método 934.06 da AOAC (1997).

**Sólidos solúveis**: através da leitura da amostra em refratômetro.

**Acidez titulável total**: método 942.15 da AOAC (1997) e expressa em % de ácido cítrico.

**Açúcares redutores e totais**: métodos 925.35 e 925.36 descritos pela AOAC (1997).

**Ácido Ascórbico (vitamina C)**: método 967.21 descrito pela AOAC (1997), modificado por Benassi (1990) que substituiu-se o solvente extrator ácido metafosfórico por ácido oxálico.

**Lipídios totais**: expressos em base úmida (g/100g material) e em base seca (g/100g sólidos) foram determinados de acordo com método descrito por Bligh e Dyer (1959), através da extração por clorofórmio e metanol.

**Fibra dietética total**: foram determinadas as fibras solúveis e insolúveis de acordo com método enzimático utilizando kit TDF –100A, Sigma (SIGMA, 2000).

**Cor**: através da leitura dos parâmetros valores L\* (luminosidade), a\* (+a\* vermelho, -a\* verde), b\* (+b\* amarelo, -b\* azul), sistema CIELab, em espectrofotômetro Hunter Lab, utilizando calibração RSIN, iluminante D<sub>65</sub> e um ângulo de detecção de 10°.

**Textura instrumental:** Foi avaliada a fraturabilidade (g), através da medida força em compressão, determinado através do aparelho texturômetro TA-XT2 (STABLE MICRO SYSTEMS), usando sonda (probe) com diâmetro de 1/4” (P/0.25S).

A análise foi baseada na metodologia para *tortilha chips* do banco de dados do equipamento. As condições estipuladas foram: velocidade pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade do teste de 1,0 mm/s, velocidade pós-teste de 10,0 mm/s, distância de penetração do êmbolo na amostra de 3,0 mm (modificada), força de contato de 5g e taxa de aquisição de 200pps (ponto por segundo). Os resultados são expressos pelo valor médio dos picos de força de 10 amostras, em gramas.

### **Análise Sensorial**

Foi realizada através de teste afetivo (STONE e SIDEL, 1993), medindo a aceitabilidade das amostras de *chips* de manga, em seus atributos aparência, cor, aroma, sabor e textura, utilizando escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (desgostei extremamente) e superior 9 (gostei extremamente), e intenção de compra, utilizando escala hedônica estruturada de extremidade inferior 1 (certamente não compraria) e superior 5 (certamente compraria). Foram consultados 33 provadores e as amostras servidas em prato de plástico branco codificados com três algarismos, em cabines individuais sob luz branca.

### **Análise estatística**

Foi realizada análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos e diferenças entre as médias verificadas através do teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança, utilizando o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, versão 8.0).

## Caracterização das matérias-primas

Os dados da Tabela 1 mostram que, a manga da cultivar Palmer, utilizada neste estudo, independentemente do ponto de maturação, apresentou os maiores valores de sólidos totais e vitamina C, que a manga da cultivar Tommy Atkins, como também constatado por Carvalho e outros (2004).

Assim como estabelecido por diversos autores, foram encontrados maiores teores de sólidos solúveis e açúcares totais nas amostras maduras das duas cultivares. O aumento do teor de sólidos solúveis e açúcares está associado à quebra de polissacarídeos durante o amadurecimento (MEDLICOTT e THOMPSON, 1985; BERNARDES-SILVA, LAJOLO e CORDENUNSI, 2003).

A cultivar Tommy Atkins apresentou maiores teores de sólidos solúveis, açúcares redutores e açúcares totais que a Palmer, nos pontos verde e “de vez”, e ligeiramente inferiores no ponto maduro. Deve-se lembrar que a determinação do ponto de maturação foi realizada empiricamente neste trabalho, através da coloração visual da polpa, a fim de se estabelecer diferenças na composição da matéria-prima e verificar o efeito destas diferenças nos produtos finais, os *chips*. Portanto os diferentes estágios verde, “de vez” e maduro podem não corresponder exatamente para as duas cultivares.

Os valores de açúcares totais (AT) e redutores (AR) da manga Tommy Atkins madura se encontram próximos aos valores encontrados por Bernardes-Silva, Lajolo e Cordenunsi (2003) e por Bleinroth e outros (1984), sendo 11,89 e 12,37% de AT e 2,84 e 4,08% de AR, respectivamente. O teor de sólidos solúveis, relacionado ao teor de açúcares totais, está mais de acordo com o trabalho de Bleinroth e outros (1984), e de Carvalho e outros (2004) e superior ao valor encontrado por Siqueira e outros (1988) (15,9%, 16,6% e 13,9%, respectivamente).

**Tabela 1:** Caracterização física e físico-química das amostras de manga das cultivares

Palmer e Tommy Atkins em diferentes pontos de maturação.

Análises	Tommy	Tommy	Tommy	Palmer	Palmer	Palmer
	maduro	“de vez”	verde	maduro	“de vez”	verde
pH*	4,12 ± 0,01	3,65 ± 0,01	3,65 ± 0,03	4,67 ± 0,01	4,26 ± 0,01	4,25 ± 0,01
Acidez*	0,50 ± 0,00	0,80 ± 0,01	0,64 ± 0,00	0,34 ± 0,01	0,58 ± 0,01	0,48 ± 0,01
Sólidos	15,85	12,5	9,65	16,85	9,40	6,80
solúveis**						
Sólidos	17,74 ± 0,04	17,31 ± 0,03	16,45 ± 0,14	21,54 ± 0,04	23,22 ± 0,48	19,16 ± 0,14
totais*						
Umidade*	82,26 ± 0,04	82,69 ± 0,03	83,55 ± 0,14	78,46 ± 0,04	76,78 ± 0,48	80,84 ± 0,14
Açúcares	3,39	3,98	3,67	3,53	3,15	2,89
reduzidos**						
Açúcares	11,10	9,68	6,57	11,93	7,39	4,81
totais**						
Vitamina	14,37 ± 0,38	17,16 ± 0,49	9,19 ± 0,42	63,79 ± 0,55	55,38 ± 0,62	57,62

C\*

\* média de 3 determinações ± desvio padrão

\*\* média de 2 determinações

No caso da cultivar Palmer, Rey e outros (2004) relatam um valor de sólidos solúveis de 17,2% para a manga madura, próximo ao encontrado neste trabalho, porém superior ao teor verificado por Bleinroth e outros (1984), de 14,7%.

Segundo vários pesquisadores (MEDINA *et al*, 1981; MEDLICOTT e THOMPSON, 1985; SELVARAJ, KUMAR e PAL, 1989) a acidez nos frutos diminui ao longo do amadurecimento, devido à quebra de ácidos orgânicos. A queda do valor da acidez foi bem notado do fruto verde para o maduro, porém nas amostras “de vez” estes valores foram superiores. Uma possível explicação para esse fato é que no ponto de maturação verde, não teria ainda sido completada a síntese dos ácidos orgânicos no fruto, mas sim alcançando o pico no ponto determinado como “de vez” aqui estabelecido. A partir deste ponto os ácidos teriam começado a ser degradados.

Verifica-se um ligeiro aumento no valor do pH dos frutos verdes para os maduros,

relacionado com a quebra e portanto diminuição dos ácidos orgânicos nos últimos.

O ponto de maturação não teve qualquer relação com o valor de vitamina C, ao contrário do que mostra a literatura. De acordo com alguns autores, o ácido ascórbico tem o seu teor diminuído com o amadurecimento do fruto (HULME, 1970, MEDINA *et al.*, 1981). Estudos citados por Medina e outros (1981) mostram um decréscimo de 70-130mg/100g em frutos verdes para 15-50mg/100g em frutos maduros, em variedades comerciais da Índia, e de 192mg/100g para 96,1mg/100g segundo estudo citado por Stafford (1983).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios dos parâmetros de cor (L\*, a\*, b\*) para manga Tommy Atkins e Palmer nos diferentes pontos de maturação.

**Tabela 2:** Resultados\* das determinações dos parâmetros de cor L\*, a\*, b\* para mangas *in natura* Tommy Atkins e Palmer em diferentes pontos de maturação.

Manga <i>in natura</i>	Parâmetros de cor		
	L*	a*	b*
Tommy verde	67,22 ± 0,25	4,58 ± 0,14	47,14 ± 0,14
Tommy “de vez”	69,18 ± 0,07	9,29 ± 0,12	55,62 ± 0,16
Tommy madura	62,59 ± 0,12	13,34 ± 0,05	55,03 ± 0,70
Palmer verde	79,23 ± 0,02	4,77 ± 0,23	51,57 ± 0,16
Palmer “de vez”	75,36 ± 0,62	11,53 ± 0,13	51,08 ± 0,30
Palmer madura	61,05 ± 0,40	16,52 ± 0,12	51,73 ± 0,52

\* média de 3 determinações ± desvio padrão

Os valores de L\* diminuíram significativamente do ponto de maturação verde para maduro, enquanto os valores de a\* (vermelho) aumentaram, indicando amostras amarelo-alaranjadas, cor típica de manga neste ponto de maturação. Esta mudança foi mais

acentuada para a cultivar Palmer.

Os valores de  $b^*$  (amarelo) permaneceram praticamente inalterados com o amadurecimento da matéria-prima para a manga Palmer, porém foi notado um aumento da intensidade da coloração amarela nas amostras verde para as amostras “de vez” e maduras, no caso da cultivar Tommy Atkins. Pode-se dizer que a manga quando madura é mais amarela para a cultivar Tommy Atkins, e mais alaranjada para a cultivar Palmer, o que é visualmente perceptível através das Figuras 1 e 2.

A mudança de cor verificada está associada com a síntese de novos pigmentos como carotenóides e quebra da clorofila durante o amadurecimento do fruto (HULME, 1970; MEDINA *et al.*, 1981).

As amostras de manga Palmer verde e “de vez” se mostraram mais claras que aquelas nos mesmos pontos de maturação da variedade Tommy Atkins. A cor das diferentes amostras de manga *chips* pode ser visualizada nas fotos apresentadas nas Figuras 1 e 2.

### **Caracterização dos *chips***

A Tabela 3 mostra os valores médios das análises de caracterização físico-química para os chips de mangas nos estágios de maturação verde, “de vez” e madura das cultivares Tommy Atkins e Palmer.

**Tabela 3:** Resultados\* das determinações de sólidos totais, umidade e lipídeos em base úmida (bu) e em base seca (bs) para os *chips* de manga Tommy Atkins e Palmer em diferentes pontos de maturação.

<i>Chips</i>	Umidade (%)	Lipídeos (% b.u.)	Lipídeos (% b.s.)	Fibras (% b.s.)		
				Totais	Solúveis	Insolúveis
Tommy verde	2,85 ± 0,25 <b>a</b>	13,07 ± 0,18 <b>a</b>	13,46 ± 0,18 <b>a</b>	n.d.	n.d.	n.d.
Tommy “de vez”	5,41 ± 0,35 <b>b</b>	11,68 ± 0,11 <b>b</b>	12,35 ± 0,11 <b>b</b>	15,44	5,16	10,28
Tommy madura	17,38 ± 0,10 <b>d</b>	11,67 ± 0,54 <b>b</b>	14,12 ± 0,54 <b>a</b>	n.d.	n.d.	n.d.
Palmer verde	2,17 ± 0,28 <b>a</b>	10,71 ± 0,43 <b>c</b>	10,95 ± 0,43 <b>c</b>	n.d.	n.d.	n.d.
Palmer “de vez”	2,43 ± 0,20 <b>a</b>	10,45 ± 0,50 <b>c</b>	10,71 ± 0,50 <b>c</b>	11,52	0,92	10,60
Palmer madura	12,91 ± 0,17 <b>c</b>	10,14 ± 0,34 <b>c</b>	11,65 ± 0,34 <b>b,c</b>	n.d.	n.d.	n.d.

\* média de 3 determinações ± desvio padrão

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$  Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$

As amostras maduras, tanto da variedade Tommy Atkins como Palmer apresentaram elevados teores de umidade, em torno de 17 e 13 %, respectivamente, conferindo maciez, não apresentando portanto textura firme e crocante característica de um produto tipo *chips* (teor de umidade inferior a 7%).

Apesar do material obter teoricamente após o tratamento osmótico o mesmo teor de sólidos totais das amostras verde e *in natura*, este maior teor de água residual, devido à menor perda de umidade durante o processo de fritura, pode estar relacionado ao maior teor de pectinas solúveis do fruto maduro, com maior capacidade de retenção da água presente, dificultando a sua vaporização. Segundo Medina e outros (1981), durante o amadurecimento ocorre a degradação da pectina, com redução do tamanho celular,

esterificação e aumento da solubilidade, representando a principal transformação química sofrida pela manga durante este período. Ammawath e outros (2001) verificaram uma forte correlação negativa entre firmeza de bananas *in natura* com teor de umidade do material após fritura, e correlação positiva com incorporação de óleo e aceitação sensorial dos *chips*.

As amostras de *chips* da cultivar Palmer apresentaram os menores teores de lipídeos, tanto em base úmida como em base seca, nos três estágios de maturação, em relação aos *chips* de manga Tommy Atkins. Os *chips* de manga Palmer nos estágios verde e “de vez” praticamente não apresentaram diferença nos teores de umidade e lipídeos.

Comparando-se o teor de lipídeos com *chips* de outras matérias-primas, como maçã, também pré desidratada osmoticamente (30,5 %) (QUERIDO, 2005), mandioca (18,4 a 34,9 %, dependendo da variedade e do pré tratamento empregado) (GRIZOTTO e MENEZES, 2003), banana (37,0 a 42,4 %, dependendo da variedade e do ponto de maturação) (AMMAWATH *et al.*, 2001) e batata (30 a 40 %, conforme informação nutricional presente no rótulo de marcas comerciais) verifica-se que os *chips* de manga apresentam teores de lipídeos inferiores, mostrando ser um produto mais “*light*” neste macronutriente.

Em relação à maçã, esta diferença pode ser explicada pela microestrutura mais porosa comparando-se com a manga, que favorece a absorção de óleo (PINTHUS, PINTHUS, WEINBERG e SAGUY, 1995). Em relação aos outros *chips*, a maior espessura de fatiamento da manga (3 mm) em relação aos trabalhos com mandioca (1,1 a 1,5 mm) e banana (2 mm), poderia explicar a menor absorção de óleo (GAMBLE e RICE, 1988; BAUMANN e ESCHER, 1995; VITRAC *et al.*, 2002), porém mesmo com espessura de fatiamento de 2 mm o teor de lipídeos é inferior (17, 2 % - dado do Capítulo 3). Assim, o menor teor de lipídeos encontrado para os *chips* de manga pode estar relacionado a diferenças na composição química (diferença no teor de carboidratos, principalmente açúcares em manga e amido em mandioca, banana e batata) e/ou ao pré tratamento sofrido (desidratação osmótica), que diminuem o teor de água do material previamente à fritura, influenciando na absorção de óleo.

As fibras alimentares são carboidratos, da classe dos polissacarídeos, componentes

das paredes dos vegetais, não digeridas pelas enzimas do sistema digestivo humano e não fornecedoras de calorias. Elas são classificadas em solúveis, com frequência viscosas e altamente fermentáveis, incluindo as pectinas, gomas, mucilagens e algumas hemiceluloses; e insolúveis, não viscosas e que não sofrem nenhuma ou apenas uma fermentação parcial no cólon, representadas pela celulose, lignina e hemicelulose.

As fibras apresentam uma série de efeitos benéficos à saúde. As fibras solúveis retardam o esvaziamento gástrico, diminuem o pH do cólon, aumentam a proteção contra infecção bacteriana, reduzem diarreia, promovem o desenvolvimento do cólon, melhoram a tolerância à glicose e abaixam níveis elevados de colesterol total e de colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL) do sangue. Já as fibras insolúveis apresentam efeito mecânico no trato gastrointestinal, aumentam o peso e volume fecais, a maciez das fezes, a frequência da evacuação e aceleram o trânsito intestinal, reduzindo a constipação, promovem o desenvolvimento do cólon e intensificam a proteção contra infecção bacteriana. Os profissionais da saúde recomendam uma ingestão de fibras de 10-13 g/1.000 kcal (20-35 g/dia). Este nível é considerado eficaz e seguro e é quase o dobro da ingestão usual nos países ocidentais. Uma dieta normal e variada inclui cerca de 25-30% de fibras solúveis e 70-75% de fibras insolúveis, e os nutricionistas recomendam estas proporções à população em geral (NESTLÉ, 2005).

Os *chips* de manga Tommy Atkins apresentaram um teor mais elevado de fibras totais que os *chips* de manga Palmer, com a diferença referente ao maior teor de fibras solúveis. O processo de fritura não diminui o teor de fibras totais nos produtos finais, uma vez que as manga *in natura* Tommy Atkins e Palmer apresentavam 13,20 e 9,33 % (base seca), respectivamente. Como pode se constatar houve um pequeno aumento, o que pode ser explicado pelo fato de outros sólidos serem consumidos durante o processo de fritura em reações diversas, diminuindo assim o teor de sólidos totais e aumentando relativamente o teor de fibras totais.

De acordo com a Portaria nº 27, de 13/01/98, da Secretaria de Vigilância Sanitária/Ministério da Saúde, que aprova o Regulamento Técnico referente a Alimentos para Fins Especiais (BRASIL, 2005c), os chips de manga podem ser classificado como

contendo “alto teor de fibras”, uma vez que o teor mínimo presente é superior a 6 g fibras/100g produto (14,6 g/100 g chips de manga Tommy Atkins, e 11,2 g/100 g chips de manga Palmer).

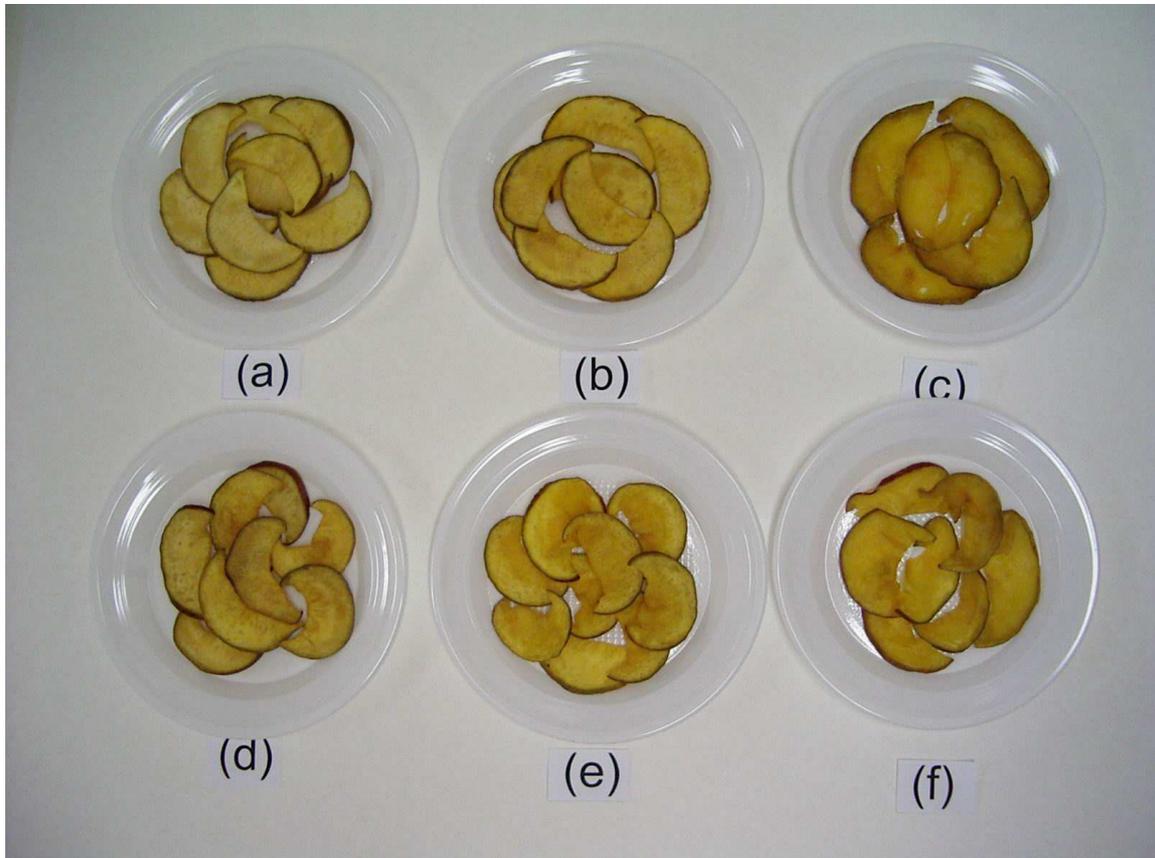
Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios dos parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) dos *chips* de manga Tommy Atkins e Palmer nos diferentes pontos de maturação. A cor dos *chips* pode ser visualizada na Figura 4.

**Tabela 4:** Resultados\* das determinações dos parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  para os *chips* de manga Tommy Atkins e Palmer em diferentes pontos de maturação.

Parâmetros de cor	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Tommy verde	66,56 ± 0,25 <b>b</b>	9,87 ± 0,08 <b>c</b>	37,66 ± 0,64 <b>c</b>
Tommy “de vez”	65,24 ± 0,51 <b>b</b>	13,58 ± 0,08 <b>a</b>	44,35 ± 0,33 <b>a</b>
Tommy madura	52,32 ± 0,10 <b>c</b>	12,52 ± 0,26 <b>b</b>	28,30 ± 0,75 <b>d</b>
Palmer verde	71,97 ± 0,10 <b>a</b>	8,43 ± 0,12 <b>d</b>	36,71 ± 0,50 <b>c</b>
Palmer “de vez”	70,00 ± 0,31 <b>a</b>	12,63 ± 0,24 <b>b</b>	41,11 ± 0,39 <b>b</b>
Palmer madura	50,93 ± 0,12 <b>d</b>	12,83 ± 0,33 <b>b</b>	25,62 ± 0,29 <b>e</b>

\* média de 3 determinações ± desvio padrão

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$



**Figura 4:** Chips obtidos de manga Palmer, nos estados de maturação verde, “de vez” e maduro (a, b, c, respectivamente) e de manga Tommy Atkins, nos estados de maturação verde, “de vez” e maduro (d, e, f, respectivamente).



De acordo com a Tabela 4 as matérias-primas nos pontos de maturação verde e “de vez” resultaram em *chips* mais claros ( $L^*$ ) em comparação aqueles de manga madura, com valores de  $L^*$  significativamente superiores ( $p < 0,05$ ), para as duas variedades estudadas. A menor luminosidade dos *chips* de manga madura pode ser explicada pela menor luminosidade inicialmente presente na manga *in natura* neste ponto de maturação (Tabela 2), mas também pela diminuição deste parâmetro durante o processo de fritura, no qual a alta temperatura empregada acelera as reações de escurecimento não enzimático (reação de Maillard e caramelização). Como as mangas *in natura* maduras apresentam maior teor de açúcares não redutores (sacarose) (Tabela 1), que são reagentes da reação de caramelização, espera-se que os *chips* obtidos de manga neste ponto de maturação apresentem maior escurecimento.

O valor do parâmetro  $a^*$  foi significativamente inferior ( $p < 0,05$ ) nos *chips* de manga verde das duas cultivares, uma vez que as mangas *in natura* também apresentavam menor intensidade de vermelho que aquelas nos estágios de maturação “de vez” e maduro.

A intensidade da coloração amarela (parâmetro  $b^*$ ) foi maior nos *chips* obtidos com manga no estágio “de vez”, para as variedades Palmer e Tommy Atkins. Os frutos verdes utilizados para o processamento dos *chips* apresentavam uma coloração amarelo-esverdeada, enquanto os “de vez” uma coloração amarela mais intensa.

Comparando-se os *chips* das duas cultivares no ponto “de vez”, os *chips* de manga Palmer apresentaram-se significativamente ( $p < 0,05$ ) mais claros e menos amarelos que os *chips* processados com manga Tommy Atkins, assim como a fruta *in natura*.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios da fraturabilidade instrumental dos *chips* referentes às mangas verde e “de vez” das cultivares Tommy Atkins e Palmer. Não foi realizada a medida de fraturabilidade dos chips de manga madura, devido ao alto teor de umidade e portanto visível falta de crocância das amostras.

**Tabela 5:** Resultados\* da fraturabilidade dos *chips* de manga Tommy Atkins e Palmer nos

estágios de maturação verde e “de vez”.

<i>Chips</i>	Fraturabilidade (g)
Tommy verde	1265,2 ± 95,2 <b>a</b>
Tommy “de vez”	1118 ± 149,5 <b>a,b</b>
Palmer verde	951,6 ± 159,5 <b>b</b>
Palmer “de vez”	976,3 ± 155,3 <b>b</b>

\* média de 6 determinações ± desvio padrão

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$

Verifica-se pela Tabela 5 que os *chips* de manga Palmer, nos pontos de maturação “de vez” e verde, e Tommy Atkins “de vez” apresentaram valores significativamente inferiores de fraturabilidade instrumental em relação àqueles processados a partir de manga verde Tommy Atkins ( $p < 0,05$ ), oferecendo menor resistência à quebra e portanto maior crocância. Entretanto, essa diferença não foi percebida pela equipe de provadores, visto que ambos os *chips* nos dois estágios de maturação e das duas cultivares receberam notas equivalentes quanto à aceitação da textura ( $p < 0,05$ ), entre 5,8 a 6,3, referente a “gostei ligeiramente” na escala hedônica de 9 pontos (Tabela 6).

O maior valor de fraturabilidade encontrado para os *chips* de manga, quando comparados a *chips* de mandioca (variando de 390 a 1403 g, para a variedade IAC Mantiqueira, e 511 a 943 g, para a variedade IAC 576.70, dependendo do pré tratamento) (GRIZOTTO, 2000) e banana (243 a 603 g, para variedades Abu e Nangka, encontradas na Malásia) (AMMAWATH *et al.*, 2001), pode estar associado à maior espessura inicial de fatiamento das fatias, sendo 3 mm, 1,1-1,5 mm e 2 mm, respectivamente. A maior espessura levaria a uma maior resistência na quebra dos *chips*, aumentando o valor da fraturabilidade e diminuindo o atributo sensorial de crocância dos mesmos.

## Análise sensorial

A Tabela 6 apresenta as médias dos atributos sensoriais para as amostras de *chips* de manga.

**Tabela 6:** Médias dos valores dos atributos sensoriais atribuídos pela equipe aos *chips* obtidos de manga Tommy Atkins e Palmer em diferentes pontos de maturação.

Atributos	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Intenção
Tommy verde	6,45 <b>a,b</b>	6,39 <b>a,b</b>	6,51 <b>a</b>	6,53 <b>a,b</b>	6,21 <b>a</b>	3,42 <b>a</b>
Tommy “de Tommy	7,18 <b>a</b>	7,36 <b>a</b>	5,73 <b>a,b,c</b>	7,03 <b>a</b>	5,87 <b>a</b>	3,41 <b>a</b>
Palmer verde	4,21 <b>c</b>	5,88 <b>b,c</b>	5,03 <b>c</b>	5,18 <b>c</b>	2,97 <b>b</b>	1,88 <b>c</b>
Palmer “de Palmer	5,70 <b>b</b>	5,12 <b>c,d</b>	6,06 <b>a,b</b>	6,22 <b>b,c</b>	5,81 <b>a</b>	2,87 <b>a,b</b>
	6,61 <b>a,b</b>	6,85 <b>a,b</b>	6,48 <b>a</b>	6,79 <b>a,b</b>	6,30 <b>a</b>	3,54 <b>a</b>
	3,53 <b>c</b>	4,21 <b>d</b>	5,27 <b>b,c</b>	5,55 <b>c</b>	3,12 <b>b</b>	2,23 <b>b,c</b>

Médias com letras iguais nas colunas não apresentam diferença significativa a  $p < 0,05$

De maneira geral, os *chips* de mangas “de vez” e verde da cultivar Tommy Atkins e “de vez” Palmer não apresentaram diferenças significativas entre si ( $p < 0,05$ ), com as maiores médias atribuídas pela equipe sensorial em todas as características avaliadas, variando entre gostei ligeiramente (textura) e gostei moderadamente (aparência, cor, sabor, aroma) resultando em uma maior intenção de compra em relação às outras amostras.

Os *chips* de manga madura, das duas cultivares estudadas, foram os menos aceitos e os *chips* de manga verde Palmer, apresentaram aceitação intermediária, porém com intenção de compra similar às amostras mais aceitas.

Assim, pode-se dizer que segundo a avaliação sensorial os pontos de maturação “de vez” e verde são ideais para produção de *chips* de manga, para as cultivares Tommy Atkins e Palmer.

## CONCLUSÕES

- Os produtos fritos obtidos de manga madura, nas duas variedades estudadas, apresentaram elevados teores de umidade, não apresentando característica de produto tipo *chips*, que deve apresentar um teor máximo de 7%, para que apresente textura crocante e estabilidade microbiológica.
- Os *chips* de manga Palmer verde e “de vez” apresentaram menores teores de umidade e lipídeos que aqueles da variedade Tommy Atkins.
- Sensorialmente, os *chips* de manga verde e “de vez” da cultivar Tommy Atkins e “de vez” da Palmer não apresentaram diferenças significativas nos atributos avaliados, mostrando uma aceitação semelhante e superior às amostras de manga madura.
- De maneira geral, os *chips* obtidos da manga nos estágios de maturação “de vez” e verde, para as duas variedades estudadas, apresentaram boas características de qualidade, como baixo teor de lipídeos e umidade, alto teor de fibras e boa aceitação sensorial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMMAWATH, W.; CHE MAN, Y. B.; YUSOF, S.; RAHMAN, R. A. Effects of variety and stage of fruit ripeness on the physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried banana chips. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1166-1171, 2001.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th. ed. Gaithersburg: AOAC, 1997.

BAUMANN, B.; ESCHER, F. Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 28,

p. 395-403, 1995.

BENASSI, M. T. **Análise dos efeitos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados.** 1990. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BERNARDES-SILVA, A. P. F.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Evolução dos teores de amido e açúcares solúveis durante o desenvolvimento e amadurecimento de diferentes cultivares de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 116-120, 2003.

BLEINROTH, E. W., FIGUEIREDO, I. B., VEIGA, A. A., SOARES, N. B., MEDINA, J. C., SABINO, J. C. Avaliação de novas cultivares de manga para industrialização. I. Análise das características físico-geométricas e químicas da matéria-prima. **Boletim do ITAL**, v. 22, n. 2, p. 207-216, 1985.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Ministério da Agricultura . Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/CULTURAS/2%5B1%5D.2A.XLS>>. Acesso em: 10 abril 2005. (a)

BRASIL. Ministério da Agricultura . Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/CULTURAS/2%5B1%5D.2B.XLS>>. Acesso em: 10 abril 2005. (b)

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/27\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/27_98.htm)>. Acesso em: 9 maio 2005. (c)

CARVALHO, C. R. L.; ROSSETTO, C. J.; MANTOVANI, D. M. B.; MORGANO, M. A.; DE CASTRO, J. V.; BORTOLETTO, N. Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas comparadas a outras de importância comercial. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 264-271 , 2004.

- 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.
- EMBRAPA. Embrapa Agroindústria Tropical. Filgueiras, H. A. C. (organizadora). **Manga pós-colheita**, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 40 p. (Frutas do Brasil, 2).
- GAMBLE, M. H.; RICE, P. The effect of slice thickness on potato crisp yield and composition. **Journal of Food Engineering**, v. 8, p. 31-46, 1988.
- GRIZOTTO, R. K. **Mandioca “chips”:** uma tecnologia para aproveitamento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). 2000. 130 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 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.
- HULME, A C. The biochemistry of fruit and their products. London: Academic Press, 1970, v. 2, 788 p.
- MEDINA, J. C.; BLEINROTH, E. W.; DE MARTINS, Z. J.; QUAST, D. G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N. M. S.; CANTO, W. L.; BICUDO NETO, L. C. **Manga: da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. 399 p. (Série Frutas Tropicais n. 8).
- MEDLICOTT, A P., THOMPSON, A K. Analysis of sugar and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var Keitt) by high performance liquid chromatography. **Journal Science of Food and Agriculture**, v. 36, n. 7, p. 561-566, 1985.
- NESTLE. Tópicos em nutrição clínica. Publicações. Fibras em nutrição enteral. Disponível em:<<http://nutricaoclinica.nestle.com.br/publicacoes/fibrasnutricaoenteral.index.htm#fibras>

>Acesso em 4 maio 2005.

PINTHUS, E. J.; WEINBERG, P.; SAGUY, I. S. Oil uptake in deep-fat frying as affected by porosity. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 4, p. 767-769, 1995.

PINTO, A. C. Q.; ANDRADE, S. R. M.; AMARO, A. A., GOMES, U. Mango industry in Brazil. **Acta Horticulturae**. (ISHS) 645: VII International Mango Symposium, p. 37-50, 2004.

PIRES, M. M.; ALVES, J. M.; SÃO JOSÉ, A. R. Current situation and perspectives of mango industry in Petrolina and Juazeiro regions, Brazil. **Acta Horticulturae**. (ISHS) 645: VII International Mango Symposium, p. 375-378, 2004.

QUERIDO, A. F. **Estudo de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 219 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

REY, J. Y.; DIALLO, T. M.; VANNIÈRE, H.; DIDIER, C.; KÉITA, S.; SANGARÉ, M. La mangue em Afrique de l'Ouest francophone: variétés et composition variétale das verges. **Fruits**, v. 59, p. 191-208, 2004.

SELVARAJ, Y.; KUMAR, R.; PAL, D. K. Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*Mangifera indica* L) fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 26, n. 6, p. 308-313, 1989.

SIGMA. Total Dietary Fiber Assay Kit. **Technical Bulletin**, n. TDFAB-3, 2000.

SIQUEIRA, D. L., BOTREL, N., CARVALHO, V. D., RAMOS, V. H. V., COUTO, F.A. D. Características físicas e químicas de frutos de vinte cultivares de mangueira (*Mangifera indica* L.) em Uberaba –MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 10, n. 2, p. 49-54, 1998.

SOARES, N. B. Mangueira. In: MELETTI, L. M. M. **Propagação de frutíferas tropicais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. P. 178-187.

SOUZA FILHO, M. S. M.; NASSU, R. T.; BRANDÃO, M. C. C.; MACHADO, T. F.; SOUZA, P. H. M. Obtenção de produto de umidade intermediária através da desidratação

osmótica de manga. In: **Simpósio “Avanços Tecnológicos na Agroindústria Tropical”**, 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CNPAT-Embrapa, p. 101-105.

STAFFORD, A. E. Mango. In: CHAN, H. T. J. **Handbook of tropical foods**. New York: Marcel Dekker, 1983, p. 399-431.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. London: Academic Press, 1993.

TOREZAN, G. A. P.; MENEZES, H. C. (a) Efeito do uso de diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica na qualidade final de *chips* de manga: aceitação sensorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 19., 2004, Recife. **Anais...** 1CD-ROM.

TOREZAN, G. A. P.; MENEZES, H. C. (b) Efeito do uso de diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica na qualidade final de *chips* de manga: teores de sólidos totais, de lipídeos e parâmetros de cor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 19., 2004, Recife. **Anais...** 1CD-ROM.

TOREZAN, G. A. P.; FAVARETO, P. C. C.; PALLET, D.; MENEZES, H. C. Osmotic dehydration of mango: effects of temperature and process time. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, Sao Paulo. **Proceedings...**, v. C, p. 2165-2172.

TRELEA, I. C.; TRYSTAM, G.; COURTOIS, F.; RAOULT-WACK, A. L.; DIAZ, A. Modelisation et commande des procédés de friture. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p. 77-82, 1997.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; RAOULT-WACK, A. L. Produits frits a base de manioc en Colombie: aptitude clonale et relation procédé/qualité. **Récents progrès en génie des procédés: La friture – Maîtrise du procédé et de la qualité des produits**, Montpellier, v. 11, n. 59, p.113-120, 1997.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A. L. Characterization 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.



## CAPÍTULO 8:

### MICROSTRUCTURE AND ADSORPTION CHARACTERISTICS OF MANGO CHIPS OBTAINED BY OSMOTIC DEHYDRATION AND DEEP FAT FRYING<sup>8</sup>

#### SUMMARY

The aim of this work was to evaluate the effects of the combined process of osmotic dehydration and deep fat frying at the mango tissue, and to determinate sorption isotherms for final products. The process of osmotic dehydration was carried out in a thermostatically controlled shaker, at 40°C and 200 rpm agitation, for 80 minutes. A ratio of 1:4 (w/w) fruit/ 65°Brix sucrose solution was used. A batch of 250 g partially impregnated and dehydrated mango slices was fried in 10 kg (1:40) of palm oil at 160°C for 3 minutes. The fresh, osmotic dehydrated (OD) and OD-deep fat fried (chips) mango slices of Palmer and Tommy Atkins cultivars, at the mature green stage, were examined by scanning electron microscopy (SEM). The adsorption isotherms of Palmer and Tommy Atkins mango chips (OD-deep fat fried) were obtained using the Dynamic Vapour Sorption method (DVS instrument). Micrographs suggested that the osmotic treatment had no effect at the tissue structure, with no presence of collapse or shrinkage of the tissue. The chips micrographs presented a shrunk cellular matrix and plasmolyzed cells resulting from the rapidly evaporated surface water during the high temperature process, and oil globules adhered to the surface tissue or to the pores created by water vaporisation. The sorption isotherms mango chips had type III characteristics for both cultivars, but Tommy Atkins samples were more hygroscopic than Palmer chips. The water adsorption phenomenon started at water activity values above 0.4, showing good product stability.

Keywords: Palmer cultivar, Tommy Atkins cultivar, DVS, adsorption isotherm, scanning electron microscopy.

---

<sup>8</sup> Artigo a ser publicado nos *Proceedings* de: 3th Inter-American Drying Conference (IADC), agosto 2005.

## CARACTERÍSTICAS DE MICROESTRUTURA E DE ADSORÇÃO DE *CHIPS* DE MANGA OBTIDOS POR DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E FRITURA

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do processo combinado de desidratação osmótica e fritura por imersão no tecido de manga, e determinar as isotermas de sorção dos produtos finais (*chips*). O processo de desidratação osmótica foi realizado em um equipamento tipo *shaker*, a 40°C e 200 rpm, por 80 minutos. Foi utilizada uma razão de 1:4 (p/p) de fruta e solução de sacarose a 65°Brix. Uma batelada de 250 g de manga parcialmente desidratada e impregnada foi submetida à fritura em 10 kg de óleo de palma refinado, a 160°C durante 3 minutos. As fatias de manga *in natura*, desidratada osmoticamente (DO) e DO-frita (*chips*), das cultivares Palmer e Tommy Atkins, no estado de maturação “de vez”, foram observadas através de microscopia eletrônica de varredura. (MEV). As isotermas de adsorção dos *chips* de manga das duas cultivares foram obtidas através do método dinâmico de sorção de vapor (equipamento DVS). As micrografias sugeriram que o tratamento osmótico não teve efeito sobre a estrutura do tecido, sem a presença de colapso ou encolhimento. As micrografias dos *chips* apresentaram encolhimento da matriz celular e células plasmolizadas, resultado da rápida evaporação da água na superfície do material durante o processo de fritura a alta temperatura (160°C), e glóbulos de óleo aderidos na superfície ou nos poros criados pela vaporização da água. As isotermas de sorção dos *chips* apresentaram características do tipo III para as duas cultivares, mas as amostras de manga Tommy Atkins foram mais higroscópicas que os *chips* de manga Palmer. O fenômeno de adsorção de água iniciou a uma atividade de água acima de 0,4, mostrando uma boa estabilidade do produto.

Palavras-chave: Palmer, Tommy Atkins, método dinâmico de sorção de vapor (DVS), isoterma de adsorção, microscopia eletrônica de varredura.

## INTRODUCTION

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most important and world-wide appreciated tropical fruits due to its attractive flavour, colour and high nutritional value (vitamins A and C, soluble and insoluble fibres and mineral salts) (STAFFORD, 1983). In Brazil, it is a cheap fruit, which can be easily found *in natura* in great amounts around the country.

Brazil is one of the greater mango producing country in the world, with cultivated area around 68 thousands hectares and more than 900 thousand tones of production (BRASIL, 2005 a, b). However, a considerable amount of the Brazilian production does not respond to the exportation quality standard and only few amounts are industrialised resulting in losses (SOUZA FILHO *et al.*, 1998).

The combined process of osmotic dehydration and deep fat frying applied for obtaining mango chips is a good alternative to industrialise this fruit, being attractive and practical, and source of vitamins, mineral salts and fibres (TOREZAN *et al.*, 2004).

Osmotic dehydration (OD) consists in the immersion of the product into a concentrated solution (i.e. sugar, salt, sorbitol, glycerol), generating a partially dehydrated and impregnated product. Three simultaneous mass transfer phenomena occurs: an important water flow from the product to the solution; a solute transfer from the solution to the product; and a minor transfer of product's own solutes (sugars, organic acids, minerals and vitamins) to the concentrated solution (RAOULT-WACK, 1994).

The changes in the cellular structure, like shrinkage and loss of membrane integrity by the osmotic dehydrated samples depend of many factors, as temperature, nature and concentration of osmotic solution (FERRANDO and SPIESS, 2001), and time (TORREGGIANI and BERTOLO, 2001; NIETO *et al.*, 2004). On the other hand, the protective effect of certain osmotic agents, like sugars, impregnated during OD process improve the product quality submitted to a further process, like air drying, air drying-freezing or deep fat frying.

The deep fat frying is a process widely applied in food industry, food service and domestic scale. The process involves a lot of physical and chemical changes in the frying media (oil) and food: water loss, oil absorption, flavour and colour development (Maillard reaction), and mechanical deformations as shrinkage, expansion, development of porosity and crispy texture, etc. (VITRAC, TRYSTAM and RAOULT-WACK, 2000).

For snack and chips foods, crispness is a desirable texture property, and its loss is associated to water adsorption (SAUVAGEOT and BLOND, 1992). Thus, the determination of water sorption isotherm (capacity to desorb or adsorb water from the environment) is very important to predict changes in texture, as well microbiological stability, and to select appropriate package materials (KONOPACKA, PLOCHARSKI and BEVERIDGE, 2002).

The principal methods for obtaining water sorption isotherms for foods are gravimetric, manometric and hygrometric. The traditional gravimetric method (static gravimetric method) consists in exposing the samples to atmospheres of saturated salt solutions or sulphuric acid solutions known relative humidities (TSAMI, MARINOS-KOURIS and MAROULIS, 1990). This method is a lengthy and a labour process involving a series of repetitive weighing (FRENCH and YOUNG, 2004).

The dynamic vapour sorption system (DVS), established in the pharmaceutical industry, but still new in the food industry, simplifies by the automation of the process, with continuous measuring the uptake or loss of moisture. The flow of air around the samples makes the wetting and drying process faster and more controlled (CORZO and FUENTES, 2004; FRENCH and YOUNG, 200?).

The aim of this study was to observe the structural changes of mango tissue submitted to OD and OD-frying of two mango cultivars, Palmer and Tommy Atkins, by SEM, and to determinate the adsorption characteristics of final products (chips).

## MATERIALS AND METHODS

### Materials

Mangoes of the Tommy Atkins and Palmer cultivars, half ripe ripeness stage were obtained from a local market (São Paulo State- Brazil). The mangoes were firstly cut longitudinally into two halves close to the stone, and each half was sliced transversally into 3mm half moon slices using an electric slicer, without the skin. Commercial sucrose was used as osmotic agent in the osmotic dehydration pre treatment. Refined, bleached and deodorised palm oil (Grupo Agropalma, Brazil) was used as the frying medium.

### Osmotic dehydration

Mango slices were submitted to pre treatment of osmotic dehydration before deep fat frying process. The trials were carried out in a thermostatically controlled shaker (model MA 830, Marconi, Brazil), placing the mango slices in 2L conical flasks containing pre-heated 65% sucrose solution, by a ratio of 1:4 (w/w) fruit/solution, during 80 minutes at 40°C and 200 rpm agitation. At the end of OD process, mango slices were rinsed to remove superficial syrup and manually dried with an absorbent paper.

### Frying experiments

The frying process was carried out using an electric deep-fat fryer (model F25, Croydon, with temperature control, type E5GN-Q1TC, Omron, Brazil), filled with 10 kg of palm oil and heated with an electrical resistance submerged at the bottom of the tank at 160°C for 3 minutes, by a ratio of 1:40 (w/w) fruit/oil (250g: 10kg); the excess surface oil was removed by centrifugation (1800 rpm or 400xg).

### Physicochemical characterisation

Total solids, titrable acidity (% citric acid), sugar content (reducing and total sugars) were determined according to AOAC methods (AOAC, 1997). pH was measured by a pHmeter (model B374, Micronal, Brazil), and soluble solids by a refractometer (Carl Zeiss Jena, Germany).

Fat content was determined by methanol and chloroform extraction, according to Bligh and Dyer (1959) method. All analyses were carried out in triplicate.

### **Electron microscopy**

For scanning electron microscopy (SEM), fresh, OD and OD-deep fat fried mango samples were fixed overnight in 3% glutaraldehyde in a 0,1 M cacodylate buffer at pH 7.2 at room temperature. The fixation was followed by rinsing in 0,1M Cacodylate buffer, pH 7.2, during 20 minutes (three times).

The mango sections were frozen in slush nitrogen ( $-210^{\circ}\text{C}$ ), fractured and post fixed in 1% osmium tetroxide in 0.1M cacodylate buffer for 4h at  $4^{\circ}\text{C}$ . After rinsing in 0,1M cacodylate buffer, pH 7.2, during 30 min (twice), the mango tissues were subsequently dehydrated in a grade acetone series: 30% (in water), for 20 minutes; 50%, 20 minutes; 70%, overnight; 90%, 20 minutes; and 100%, for 20 minutes, three times.

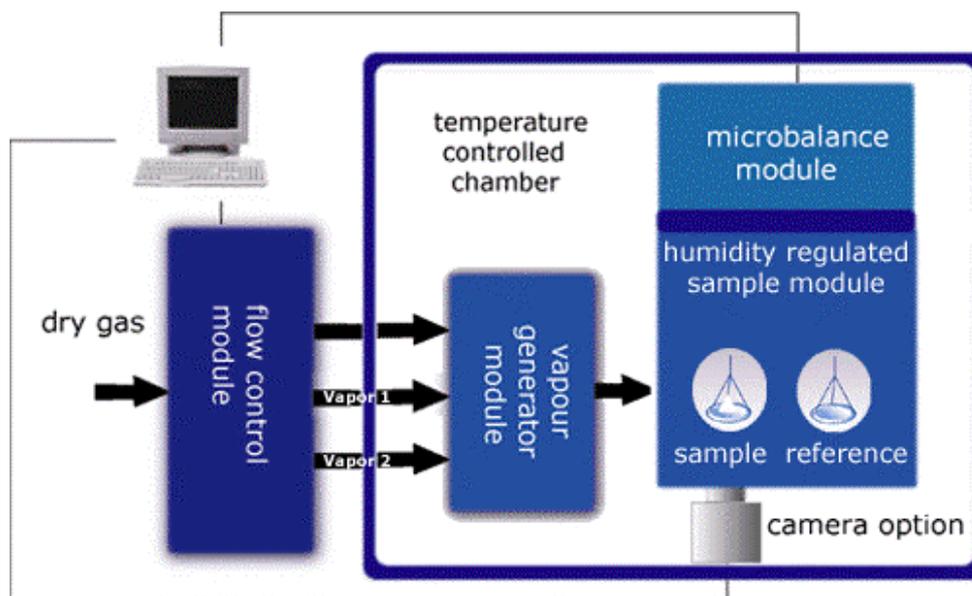
The dehydrated mango tissues were critical point dried with carbon dioxide as the transitional fluid, at  $37^{\circ}\text{C}$  and 70bar (Critical Point Dryer CPD030, BALZERS), for eliminate acetone in the samples. The samples were mounted on aluminium stubs and sputter-coated with gold (Sputter Coater SCD050, BALZERS) and their microstructure examined in a scanning electron microscope (JSM-5800LV, JEOL, USA).

The methodology was based in literature of SEM for fruits tissues (KIM and HUNG, 1990; LUO, PATTERSON and SWANSON, 1992; JACOBI and GOWANLOCK, 1995; ANTONIO, 2003).

### **Measurement of Moisture Adsorption**

The adsorption isotherms were determined by the dynamic vapour sorption system, in a DVS 2<sup>®</sup> instrument (Surface Measurement Systems, UK), which consists of a microbalance inside an incubator that maintains a pre selected temperature. Computer feedback is used to control the air humidity that flows over the sample (FRENCH and YOUNG, 200?) (Figure 1).

The samples of mango chips was heaped on the DVS pan and dried before commencing the trials. The DVS was set to cycle from 0% to 90% of relative humidity and runs were conducted at 25°C and 35°C. The results were converted to isotherms by taking the final moisture content of each step and plotting it against relative humidity.



Source: Surface Measurement Systems – SMS, UK (Surface Measurement Systems, 2005).

## RESULTS AND DISCUSSION

## Physicochemical characterisation

Tables 1 and 2 show the characteristics of the Tommy Atkins and Palmer fresh mangoes and OD-deep fat fried chips.

Table 1: Chemical composition of fresh mangoes

Fresh mangoes	pH	Acidity (% citric acid)	Soluble solids (%)	Moisture (%)	Reducing sugar (%)	Total sugar (%)
Tommy Atkins	3.6 ± 0.0	0.8 ± 0.0	12.5	82.7 ± 0.0	3.98	9.68
Palmer	4.3 ± 0.0	0.6 ± 0.0	9.4	76.8 ± 0.5	3.15	7.39

Table 2: Chemical characterisation of mango chips

Chips	Total solids (%)	Moisture (%)	Total lipids (% wet basis)	Total lipids (% dry basis)
Tommy Atkins	94.6 ± 0.3	5.4 ± 0.3	11.7 ± 0.1	12.3 ± 0.1
Palmer	97.6 ± 0.2	2.4 ± 0.2	10.4 ± 0.5	10.7 ± 0.5

Fresh mango sample of Palmer cultivar showed higher values of pH and total solids, and lower soluble solids, total sugar and titrable acidity contents than Tommy Atkins cultivar. Palmer mango chips presented lower moisture and lipids content than Tommy Atkins chips. Basically, we can say that Tommy Atkins cultivar *in natura* is sweeter and softer than Palmer one.

## Microstructure analyses

The mesocarp tissue of the raw material showed turgid, polygonal and aligned cells (JACOBI and GOWANLOCK, 1995). In Palmer fresh mango (Figures 2a, 2b and 2c) was observed the presence of cells tissue presenting starch granules, for many micrographs analysed, but not for Tommy Atkins (Figures 3a, 3b and 3c).

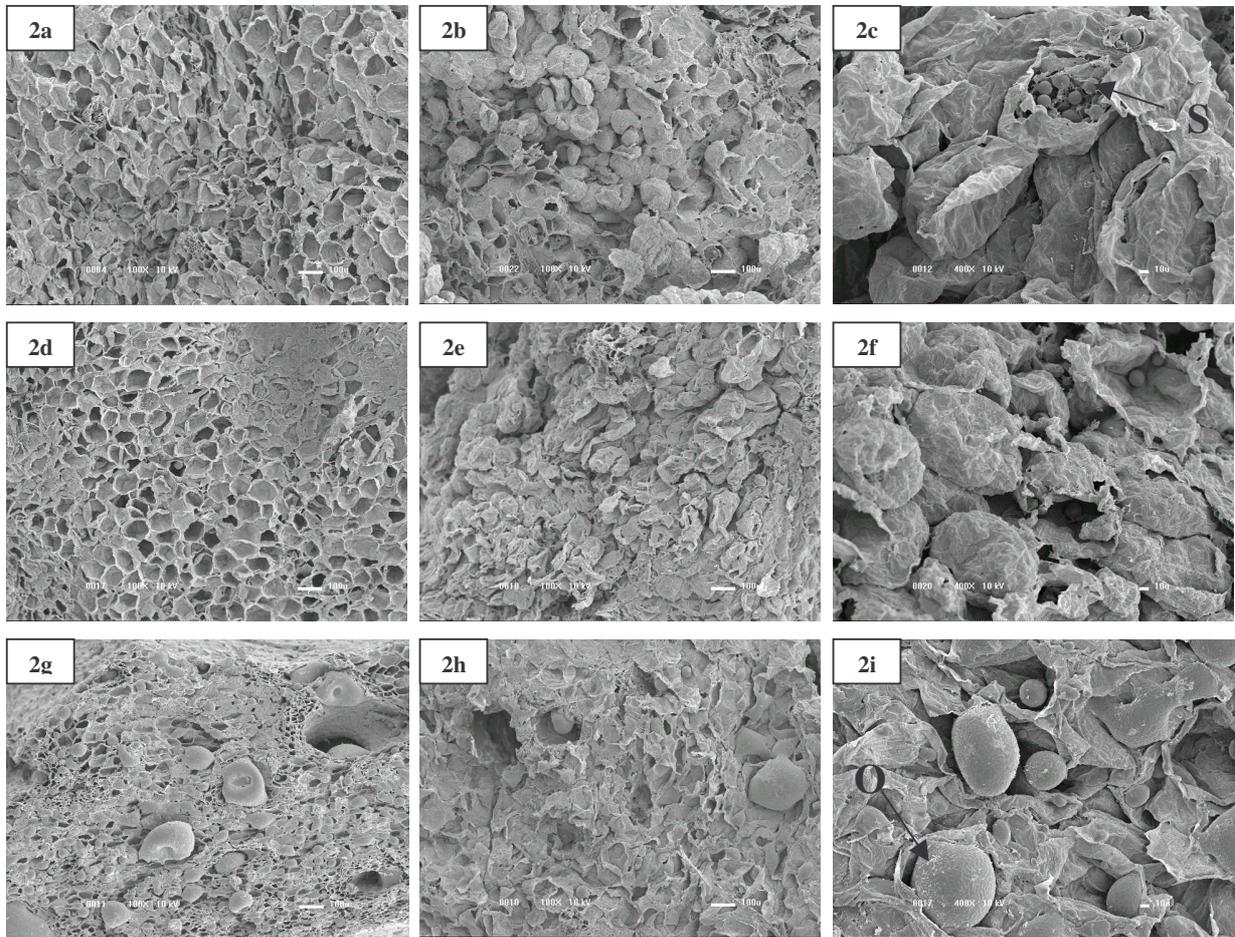
The effects of OD treatment at the cellular structure depends on many factors, as temperature, time, nature and concentration of osmotic solution, and differences between vegetal tissue. Antonio (2003) verified that banana tissue was less affected by the process conditions (temperature and solution concentration, lactic acid in the solution) than papaya tissue, due probably to the starch and tannin content conferring a high resistance to the structure.

Tovar, García and Mata (2001) observed plasmolysed cells at the external layer of mango exposed to the osmotic solution (sucrose 65°Brix at 30°C and 211 mbar vacuum during 30 min) but no apparent effect of OD on the inside portion of mango slices.

Micrographs obtained for OD mango slices, of both cultivars (Figures 2d, 2e, 2f and 3d, 3e, 3f) were very similar to raw material slices, what suggest that the osmotic treatment had no apparent effect at the tissue structure, without shrinkage and cell collapse.

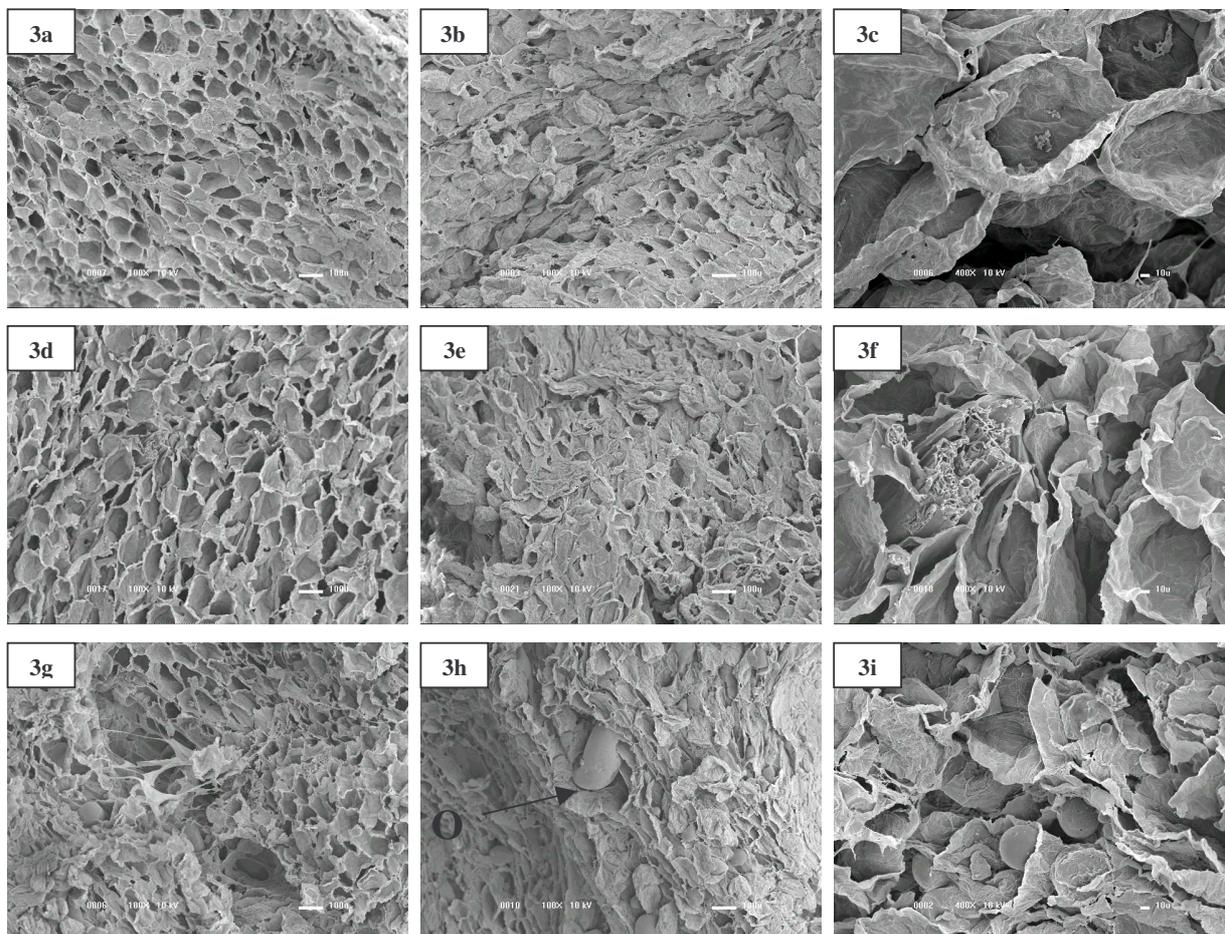
In the case of OD-fried material, many changes in the mango tissue are noted (Figures 2g, 2h, 2i and 3g, 3h, 3i). During deep fat frying, an intense vaporisation occurs, resulting in a porous structure. During the cooling period, an increasing capillary pressure occurs, resulting in a flow of the surface oil into the porous product (MOREIRA, CASTELL-PEREZ and BARRUFET, 1999). The material presented a shrunk cellular matrix and plasmolysed cells. Oil globules adhered at the surface tissue or at the porous created by the water vaporisation were also observed.





**Figure 2:** Scanning electron micrographs of **Palmer fresh mango slices:** (a, cross-sectional view), (b) and (c); **OD slices:** (d, cross-sectional view), (e) and (f); **OD-deep fat fried slices:** (g, cross sectional view), (h) and (i). Scale bar = 100 $\mu$  (a, b, d, e, g, h), and 10  $\mu$ m (c, f, i). S = Starch, O = Oil.





**Figure 3:** Scanning electron micrographs of **Tommy Atkins fresh mango slices:** (a, cross-sectional view), (b) and (c); **OD slices:** (d, cross-sectional view), (e) and (f); **OD-deep fat fried slices:** (g, cross sectional view), (h) and (i). Scale bar = 100 $\mu$  (a, b, d, e, g, h), and 10  $\mu$ m (c, f, i). O = oil.

### Adsorption isotherms

The adsorption isotherms of Tommy Atkins and Palmer mango chips, at 25°C and 35°C are shown in Figure 3. All curves showed characteristics of type III according to the BDDT classification (BRUNAUER *et al.*, 1940). This type of isotherms is observed in products containing significant amounts of monosaccharides and sucrose (KONOPACKA, PLOCHARSKI and BEVERIDGE, 2002; LABUZA, 1983; TSAMI, VAGENAS and MARINOS-KOURIS, 1992).

The sorption of water by the product increase with the increase of the water activity, what is related to the dissolution of soluble solids, mainly sugars (HUBINGER *et al.*, 1992). At low water activities, water can be adsorbed only to surface –OH sites of crystalline sugar, so moisture content is low in the low water activity. At high water activities, dissolution of sugars occurs and crystalline sugar is converted into amorphous sugar, increasing the number of adsorption sites and consequently the water adsorption (SALTMARCH and LABUZA, 1980, cited by AYRANCI, AYRANCI and DOGANTAN, 1990).

For the two cultivars, Tommy Atkins and Palmer mango chips, the water adsorption started at water activity above 0.4, at the both temperatures (25 and 35°C). Tommy Atkins samples were more hygroscopic than Palmer, due probably to the more sugars content present in the raw material (Table 1). At this ripeness stage the breakdown of carbohydrates in simple sugars is more advanced for Tommy Atkins than Palmer mangoes, that present more starch content, as shown in the micrograph (Figure 2c).

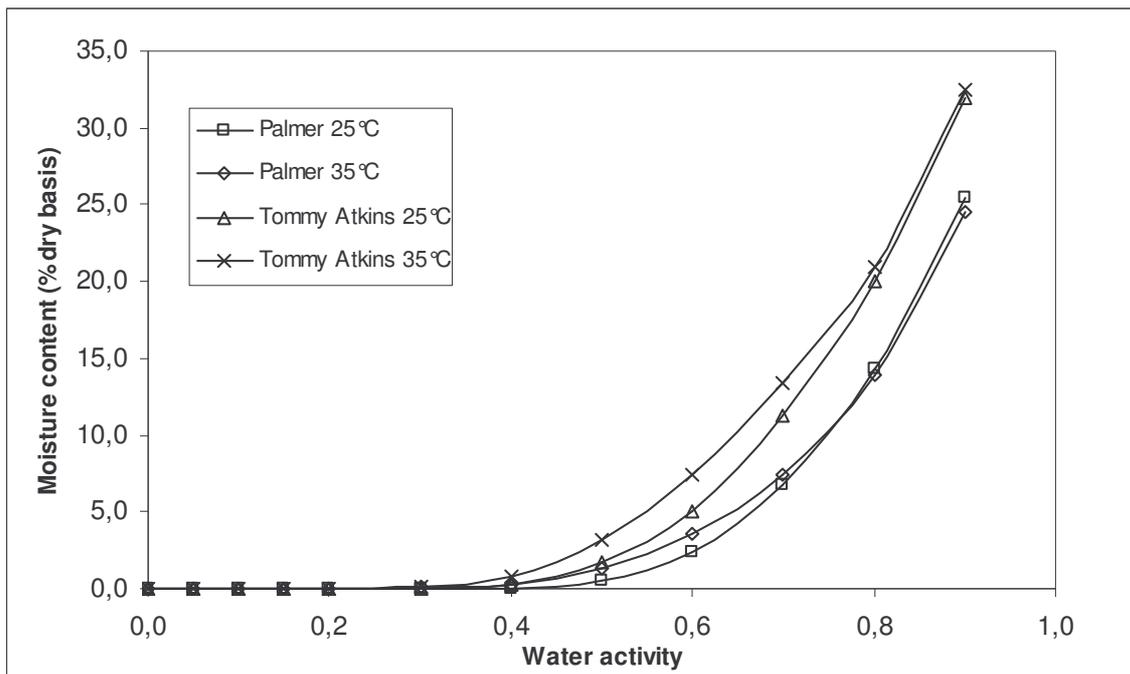
Comparing sorption isotherms of others low-moisture products, mango chips present lower higroscopicity than fat free apple chips (sucrose (KONOPACKA, PLOCHARSKI and BEVERIDGE, 2002) and vacuum-dried mango (HUBINGER *et al.*, 1992), and similar to potato chips (KATZ and LABUZA, 1981) and tortilla chips (PALOU, LÓPEZ-MALO and ARGAIZ, 1997). In aw of 0.7, while apple fat free adsorb 31-32g/100g solids (20°C) and mango vacuum-dried 20g/100g (25°C), mango chips

adsorb between 6.8g/100g (Palmer) and 11.2 (Tommy Atkins) (25°C), tortilla chips 10g/100g, and potato chips ~11g/100g.

The high higroscopicity of dried apples is due to the large content of carbohydrates and pectic substances, but also to its high porosity (sucrose (KONOPACKA, PLOCHARSKI and BEVERIDGE, 2002)).

For mango, potato and tortilla chips, in despite of a large amount of pores developed during vaporisation of deep fat frying process, the lower higroscopicity may be explained by the oil content in the samples. The oil globules, present in the surface and pores material, with its hydrophobic nature, difficult the water adsorption.

The temperature dependence of the moisture content was more intense for Tommy Atkins sample. For Tommy, the temperature effect was observed in the aw range of 0.45-0.8, and for Palmer, at 0.5-0.7. An increase in temperature resulted in an increase of moisture content, at a given water activity, above 0.45. Below this aw value, no temperature effect was observed. Ayranci *et al.* (1990) observed similar behaviour for dried apricot, fig and raisin at high aw values. For all three products the moisture content was higher at 36°C than at 20°C at the water activities above 0.6. The authors explained this unusual temperature effect by the dissolution of sugars in this aw range. Since the sugar dissolution is an endothermic phenomenon, at higher temperatures, more sugar is dissolved and more water can be adsorbed by the product.



**Figure 4:** Moisture adsorption isotherms of mango chips.

## CONCLUSIONS

The deep fat frying affected strongly the cellular structure of mango slices, resulting shrinkage of the surface, tissue compactness and pores development by the fast and vigorous water vaporisation. The sorption moisture isotherm of mango chips presented a shape characteristic of type III, according BDDT classification. The chips presented low higroscopicity, similar to other fat chips, like potato and tortilla, with a good stability.

## LITERATURE CITED

ANTONIO, G. C. **Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa do processo de desidratação osmótica de Banana Nanica (*Musa cavendishi*) e de Mamão Formosa (*Carica papaya L.*)**. 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th. ed. Gaithersburg: AOAC, 1997.

AYRANCI, E.; AYRANCI, G.; DOGANTAN, Z.. Moisture sorption isotherms of dried apricot, fig and raisin at 20°C and 36°C. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 6, p.1591-1593, 1990.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Ministério da Agricultura (a). Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/CULTURAS/2%5B1%5D.2A.XLS>>. Acesso em: 10 abril 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura (b). Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/CULTURAS/2%5B1%5D.2B.XLS>>. Acesso em: 10 abril 2005.

CORZO, O.; FUENTES, A. Moisture sorption isotherms and modelling for pre-cooked flours of pigeon pea (*cajanus cajans* L millsp) and lima bean (*Canavalia ensiformis*). **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 443-448, 2004.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. S.; TELLER, E. On a theory of the van der Waals adsorption of gases. *J. Am. Chem. Soc.*, v. 62, p. 1723-1732, 1940.

FERRANDO, M.; SPIESS, W. E. L. Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 115-127, 2001.

FRENCH, H.; YOUNG, B. Dynamic vapour sorption of different DE maltodextrins. **Food Science Australia – Afisc (Australian Food Industry Science Centre)**. 200?. 1 poster.

HUBINGER, M.; MENEGALLI, F. C.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Water vapor adsorption isotherms of guava, mango and pineapple. **Journal of Food Science**, v. 57, p. 1405-1407, 1992.

JACOBI, K. K.; GOWANLOCK, D. Ultrastructural studies of Kensington mango (*Mangifera indica* Linn.) heat injuries. **Hort Science**, v. 30, n. 1, p. 102-103, 1995.

KATZ, E. E.; LABUZA, T. P. Effect of water activity on sensory crispness and mechanical

deformation of snack food products. **Journal of Food Science**, v. 46, p. 403-409, 1981.

KIM, N. K.; HUNG, Y. C. Microscopic measurement of apple bruise. **Food Structure**, v. 9, p. 97-104, 1990.

KONOPACKA, D.; PLOCHARSKI, W.; BEVERIDGE, T. Water sorption and crispness of fat-free apple chips. **Food Chemistry and Toxicology**, v. 67, n. 1, p. 87-92, 2002.

LABUZA, T. Standard procedure for isotherm determination. **Food Research**, v. 28, n. 4, p.258, 1983.

LUO, Y.; PATTERSON, M. E.; SWANSON, B. G. Scanning electron microscopy structure and firmness of papain treated apple slices. **Food Structure**, v. 11, p. 333-338, 1992.

MOREIRA, R. G.; CASTELL-PEREZ, M. E.; BARRUFET, M. A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 350 p.

NIETO, A. B.; SALVATORI, D. M.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 269-278, 2004.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; ARGAIZ, A.. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms of some cookies and corn snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 85-93, 1997.

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

SAUVAGEOT, F.; BLOND, G. Effect of water activity on crispness of breakfast cereals.

**Journal of Texture Studies**, v. 22, p. 423-442, 1991.

SOUZA FILHO, M. S. M.; NASSU, R. T.; BRANDÃO, M. C. C.; MACHADO, T. F.; SOUZA, P. H. M. Obtenção de produto de umidade intermediária através da desidratação osmótica de manga. In: **Simpósio “Avanços Tecnológicos na Agroindústria Tropical”**, 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CNPAT-Embrapa, p. 101-105.

STAFFORD, A. E. Mango. In: CHAN, H. T. J. **Handbook of tropical foods**. New York: Marcel Dekker, 1983, p. 399-431.

SURFACE MEASUREMENT SYSTEMS, UK. DVS Technique. Disponível em:<[http://www.smsuk.co.uk/Products\\_DVS\\_Technique.php](http://www.smsuk.co.uk/Products_DVS_Technique.php)>. Acesso em: 13 maio 2005.

TOREZAN, G. A. P.; FAVARETO, P. C.; PALLET, D., MENEZES, H. C.; REYNES, M. Use of a combined process of osmotic dehydration and deep-fat frying to obtain mango chips from the cultivar Tommy Atkins. **Acta Horticulturae**, v. 645, p. 285-291, 2004.

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.

TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D.; MAROULIS, Z. B. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 6, p.1594, 1990.

TSAMI, E.; VAGENAS, G. K.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture sorption of pectins. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 16, p. 151-161, 1992.

TOVAR, B.; GARCÍA, H. S.; MATA, M. Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. **Food Research International**,

v. 34, n. 207-215, 2001.

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 Science Technology**, v. 102, p.529-538, 2000.

**CAPÍTULO 9:**  
**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE VÁCUO NO PROCESSO DE FRITURA PARA  
OBTENÇÃO DE CHIPS<sup>9</sup>**

**RESUMO**

O efeito da aplicação de vácuo na transferência de massa (perda de vapor d'água) e no desenvolvimento de cor durante a fritura por imersão de maçã *in natura* e pré desidratada osmoticamente foi avaliado, usando diferentes condições de pressão ( de 20 a 101kPa) e temperatura do óleo (de 91 a 160°C). A perda de água (vapor) foi medida em linha conectando a fritadeira a um computador. Os resultados mostraram que a taxa de secagem depende essencialmente da diferença entre a temperatura do óleo e o ponto de ebulição da água no produto, e para o mesmo gradiente a pressão teve um efeito maior que a temperatura. Não foi observado nenhum desenvolvimento de coloração quando aplicado vácuo (20 e 30kPa). A desidratação osmótica como pré tratamento à fritura foi mais efetiva para evitar o desenvolvimento de cor a condições de pressão mais elevadas (pressão atmosférica).

**Palavras-chave:** vácuo, fritura, maçã, cor.

---

<sup>9</sup> Publicado em parte (parte I) nos *Proceedings* de: 9th International Conference of Engineering and Food, Montpellier, 2004.

## SUMMARY

The effect of vacuum application on the mass transfer (vapour losses) and colour development during the deep fat frying of raw and pre treated by osmotic dehydration apples was evaluated, using different conditions of pressure (ranging from 20 to 101kPa) and oil temperature (from 91 to 160°C). The water loss (vapour) was measured on line placing the fryer on an analytical scale interfaced to a PC. The results showed that the drying rate depended essentially on the difference between the oil temperature and saturation temperature, and for the same gradient the pressure had more effect than temperature. No colour development was observed when vacuum was applied (20 and 30kPa). Osmotic dehydration pre-treatment was more effective in avoiding colour development at higher pressures (atmospheric pressure).

**Keywords:** vacuum, deep-fat frying, apple, colour.

## INTRODUÇÃO

A fritura é uma importante operação amplamente difundida em todas as escalas de produção (fritura doméstica, artesanal ou industrial), importante para vários setores da indústria de alimentos como: suprimento de óleos/gorduras e ingredientes, serviços de alimentação (hotéis, restaurantes, cozinhas industriais) e manufatura de equipamentos (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999).

Pode ser aplicada para diversos alimentos de origem animal ou vegetal (BLUMENTHAL e STIER, 1991), para fabricação de produtos do tipo pré fritos congelados (batata palito, pedaços de frango e peixe), produtos de panificação como rosquinhas e sonhos, e produtos tipo *chips* (RAOULT-WACK e BRICAS, 1998).

O processo de fritura envolve transferência de calor e massa (perda de umidade e incorporação de óleo), resultando em uma série de mudanças químicas, físicas, nutricionais e sensoriais no produto e no óleo (MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999; VITRAC, TRYSTAM e RAOULT-WACK, 2000), que devem ser controladas para se obter produtos finais de qualidade.

A fritura a vácuo pode ser uma opção para produção de frutas e vegetais com baixo teor de óleo residual e características de textura e sabor desejáveis. O processo a vácuo ocorre sob pressões abaixo da pressão atmosférica, e desta forma os pontos de ebulição do óleo de fritura e da água presente no produto são abaixados, permitindo o emprego de temperaturas mais baixas do óleo de fritura (GARAYO e MOREIRA, 2002).

Uma vez que o alimento é aquecido a menores temperatura e concentração de oxigênio durante a fritura a vácuo, a cor e o sabor iniciais da matéria-prima podem ser melhor preservados comparando-se ao processo de fritura à pressão atmosférica. Além disso, o óleo de fritura tem sua vida útil estendida (SHYU, HAU e HWANG, 1998) e a absorção de óleo pelo produto também é minimizada (GARAYO e MOREIRA, 2002; QUERIDO, 2005).

O processo de fritura a vácuo tem sido estudado para *chips* de maçã (SHYU e

HWANG, 2001; QUERIDO, 2005), batata (GARAYO e MOREIRA, 2002), abacaxi (ATHANASE, 1998; VAILLANT) resultando em produtos com baixa absorção de óleo, e praticamente sem modificação da cor e aroma naturais da matéria-prima.

Os objetivos deste trabalho foram: observar o efeito da pressão reduzida e do gradiente de temperatura entre a temperatura do óleo e do ponto de ebulição da água no produto no fenômeno de perda de água na forma de vapor durante o processo de fritura de maçã *in natura* e pré desidratada osmoticamente, e o efeito da pressão reduzida no desenvolvimento de cor do produto.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Maçãs da variedade Granny Smith foram adquiridas no mercado de Montpellier – França; sacarose comercial foi utilizada como agente desidratante para o processo de desidratação osmótica; óleo de palma refinado para a fritura, aquecido duas horas antes de sua utilização à temperatura de 140°C para sua estabilização, sendo seu descarte realizado após doze horas de uso.

### Preparo das amostras

Amostras *in natura*: a maçã foi inicialmente fatiada longitudinalmente na espessura de 0,2 cm, descartando-se as fatias próximas ao caroço. Cada fatia foi então cortada a fim de se obter as dimensões de 3,8 cm de largura e 4,7 cm de comprimento, eliminando-se a casca neste processo.

Amostras de maçã desidratadas: Foram obtidas através de desidratação osmótica (DO), submergindo as fatias em xarope de sacarose com concentração de 65°Brix, à temperatura de 57±2°C, durante 25 horas, quando foi atingido o equilíbrio osmótico. Para se obter as mesmas dimensões das fatias *in natura*, e assim padronizar o material para os experimentos

de fritura, a maçã submetida à desidratação osmótica foi cortada inicialmente nas dimensões 0,25 X 4,2 X 5,0 cm.

### **Dispositivo experimental de fritura**

O dispositivo experimental foi montado de acordo com Vitrac (2000). Foi utilizada uma fritadeira (modelo KPB 50, Kenwood, França) com capacidade de 5L, aquecida por uma resistência elétrica de 2kW, disposta ao fundo da cuba.

A fim de se promover uma homogeneização do campo de temperatura, foi instalado um agitador (Talboy Engineering, IKA, USA) munido de duas turbinas tipo Rushtone (6 palhetas com  $1,5 \times 0,5\text{cm}^2$  de superfície cada) de 3 cm de diâmetro, fixadas no mesmo eixo de rotação. A agitação estipulada para todos os ensaios foi de  $16,8 \text{ rad.s}^{-1}$ .

O controle de temperatura era realizado continuamente por 5 termopares (tipo K, com diâmetro de 1,5mm, com sonda de platina Pt100), dispostos em diferentes pontos e profundidades na cuba da fritadeira.

A fritadeira foi posicionada sobre um suporte metálico, um suporte de madeira (isolante) e então sobre uma balança (KA32S, Metler Toledo, com capacidade máxima de 32 kg e precisão de  $10^{-4}$ ) a fim de se registrar a massa do sistema e assim obter a medida de perda de vapor de água durante o processo de fritura. O registro da massa total da fritadeira era continuamente realizado à frequência de 6,3 Hz.

A balança e o terminal dos termopares estavam conectados a um computador, e assim todas as aquisições eram registradas e/ou controladas pelo software Labview (versão 5.1, National Instrument, USA). Todo o sistema foi disposto dentro de uma autoclave, ligada a uma bomba de vácuo, e a pressão controlada por um manômetro.

O suporte para imersão das amostras no óleo era formado por uma peça metálica de 3 cm de largura e 16 cm de comprimento, no qual estavam fixadas perpendicularmente duas grades metálicas onde eram dispostas as fatias de maçã (4 por grade). Cada grade era acoplada a mais uma para prender as fatias. Através de um sistema pneumático, o suporte com as grades era imerso e emerso do óleo da fritadeira. O dispositivo experimental está

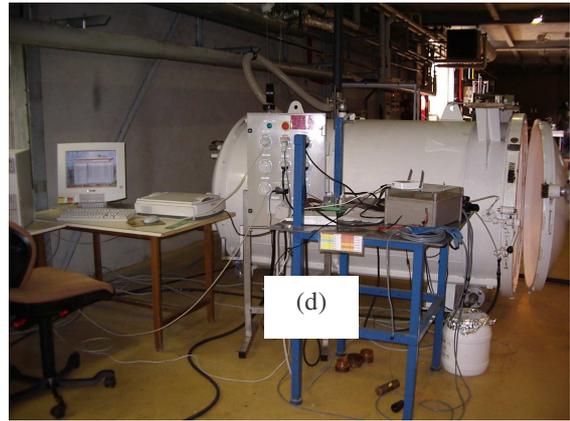
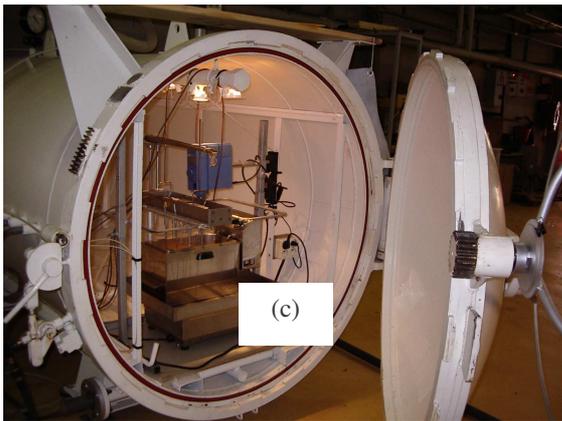
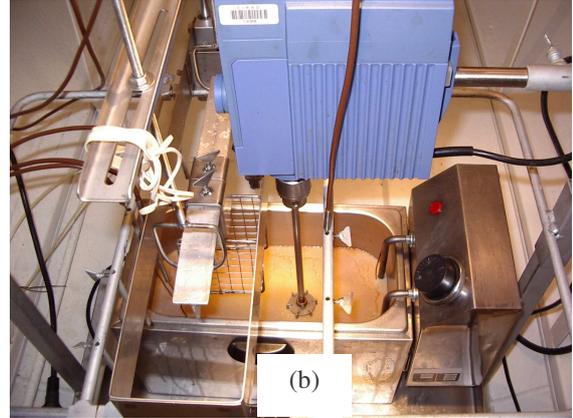
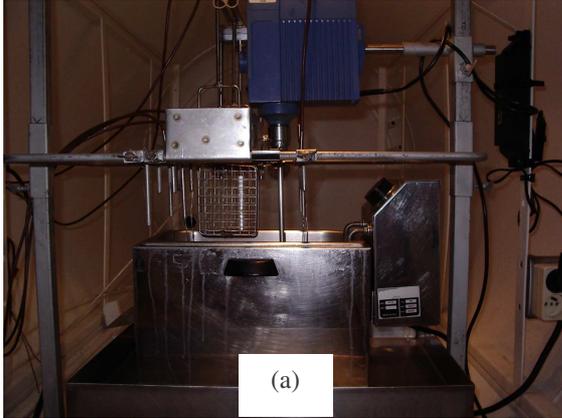
ilustrado na Figura 1.

### **Processo de fritura**

As fatias de maçã (*in natura* ou desidratadas) eram pesadas (cerca de 25 g), acondicionadas nas grades metálicas do suporte e este disposto na fritadeira. A pressão dentro da autoclave era regulada manualmente por meio de duas válvulas, e após atingir a pressão estipulada e a estabilização da balança (cerca de 9 minutos), o suporte contendo as amostras era submerso no óleo aquecido.

No decorrer da fritura, a variação da massa do sistema (fritadeira + suportes da fritadeira + suporte contendo as amostras) era continuamente registrada através do programa Lab View, até a estabilização, sendo determinado o fim do processo. O suporte era então emerso do banho de óleo, a bomba de vácuo desligada e a autoclave aberta após a pressão atingir a condição atmosférica. As amostras eram então retiradas das grades, o excesso de óleo da superfície retirado com papel absorvente.

Os ensaios de fritura foram realizados em duas partes: I) estudo da vaporização da água em diferentes condições de temperatura e pressão; II) estudo do desenvolvimento de cor de *chips* de maçã durante fritura sob diferentes condições de temperatura e pressão



**Figura 1:** Dispositivo para fritura à pressão reduzida: (a) fritadeira, agitador e suporte para amostra; (b) vista superior da fritadeira; (c) autoclave, com a fritadeira disposta sobre a balança, e acessórios; (d) autoclave, conexões entre a fritadeira e o computador.



## Parte I: Estudo da vaporização da água em diferentes condições de temperatura e pressão

O estudo foi dividido em dois blocos, de acordo com o gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ), que representa a diferença entre as temperaturas de saturação da água na maçã e a temperatura do óleo no ensaio igual. Foram escolhidos gradientes de  $58^{\circ}\text{C}$  e  $29^{\circ}\text{C}$ . Fixando-se valores aproximados de pressão em cada ensaio para os dois blocos de gradiente, foram determinados os valores da temperatura do óleo em cada ensaio, através de um diagrama de fase (temperatura de ebulição da água em função da pressão).

A Tabela 1 mostra as condições de temperatura de óleo e pressão de cada ensaio, para  $\Delta T=58^{\circ}\text{C}$  e  $\Delta T=29^{\circ}\text{C}$ . Os ensaios foram realizados em duplicata.

**Tabela 1.** Condições de temperatura do óleo ( $T_o$ ), temperatura de saturação ( $T_{\text{sat}}$ ) e pressão para cada ensaio de fritura.

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )			Pressão (kPa)
$T_o$	$T_{\text{sat}}$	$\Delta T = T_o - T_{\text{sat}}$	
160	102	58	101
140	82	58	47
128	71	57	30
120	62	58	20
131	102	29	101
112	83	29	30
100	71	29	30
91	62	29	20

## Parte II: Estudo do desenvolvimento de cor de *chips* de maçã durante fritura sob diferentes condições de temperatura e pressão

Os ensaios de fritura foram conduzidos como mostra a Tabela 1, fixando-se a diferença entre a temperatura de trabalho (óleo) e a temperatura de ebulição da água em 58°C .

**Tabela 2.** Condições de temperatura do óleo ( $T_o$ ), temperatura de saturação ( $T_{sat}$ ) e pressão para cada ensaio de fritura.

Temperatura (°C)			Pressão (kPa)
$T_o$	$T_{sat}$	$\Delta T = T_o - T_{sat}$	
160	102	58	101
140	82	58	47
128	71	57	30
120	62	58	20

Para cada condição de temperatura e pressão foram realizados ensaios em duplicata ou triplicata para os tempos de 30, 50, 90, 140 e 180 segundos. Depois de remover as fatias de maçã do banho de óleo, estas foram dispostas em papel toalha para se remover o excesso de óleo da superfície.

### Medida contínua da perda de água em forma de vapor

A variação (diminuição) da massa do sistema (fritadeira + suportes da fritadeira + suporte contendo as amostras) ao longo do processo de fritura corresponde à água das amostras perdida sob forma de vapor.

A perda de vapor durante o processo é dada pela Equação 1.

$$PV = \Delta M / [(1 - TU_{(0)}) \times m] \quad (1)$$

onde  $\Delta M$  representa a variação da massa total da fritadeira (diferença da massa total do sistema no tempo inicial 0 e em cada instante t), m é a massa inicial das fatias da maçã expressas em kg e  $TU_{(0)}$  o teor de água inicial da maçã, expresso em kg/kg matéria seca não lipídica.

O teor de umidade  $TU_{(t)}$  estimado em contínuo através da massa de vapor emitida durante o processo de fritura, foi reportado à massa da matriz sólida inicial, e expresso em kg água / kg de matéria seca inicial, através da Equação 2:

$$TU_{(t)} = TU_{(0)} - \{ \Delta M / [(1 - TU_{(0)}) \times m] \} \quad (2)$$

onde  $\Delta M$  e m representam a variação da massa total da fritadeira e a massa inicial das fatias da maçã expressas em kg; e  $TU_{(0)}$  o teor de água inicial da maçã, expresso em kg/kg produto.

### **Medida analítica do teor de umidade**

Os teores iniciais de umidade da maçã *in natura* e da maçã previamente desidratada foram determinados secando-se 5 g de amostra em estufa, a vácuo, por 25 h à temperatura de 70°C.

### **Análise instrumental de cor**

Na maçã *in natura*, maçã pré-desidratada e nos *chips* foram determinados os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de cor, em colorímetro (CR300, Minolta), no sistema de leitura CIELab, utilizando: calibração RSIN, iluminante  $D_{65}$  e um ângulo de detecção de 10°.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Parte I

As cinéticas de transferência de massa da perda da vapor d'água estão mostradas nas Figuras 2 e 3.

Vitrac e outros (2002) dividiram o processo de secagem por fritura de fatias de mandioca de pequena espessura, em condição ambiente de pressão, em dois estágios, de acordo com o perfil de temperatura dentro do material: o primeiro estágio foi caracterizado por um rápido aumento da temperatura do material até o ponto de ebulição (em menos de 10 segundos), seguido por um tempo de 50 segundos onde a temperatura se manteve constante próxima ao ponto de ebulição (102-103°C, devido à presença de solutos). Nesta etapa foi observada a maior taxa de secagem, com diminuição do teor de água de 1,8kg/kg para 0,2kg/kg. O segundo período foi caracterizado por um aumento da temperatura no centro do produto, do ponto de ebulição em direção à temperatura do óleo (160°C), com menor taxa de secagem.

Como mostram as Figuras 2 e 3, há uma grande perda de água durante os 100 primeiros segundos do processo de fritura, para os ensaios com gradiente de temperatura de 58°C. A taxa de perda de água foi menos intensa para os ensaios com potencial de transferência de calor de 29°C.

Pode-se perceber que em cada grupos de experimentos a maior perda de água ocorreu no nível mais baixo de pressão, 20kPa, à temperatura de 91°C para o gradiente de 29°C e 120°C para o gradiente de 58°C, para a maçã *in natura* como pré desidratada (Figuras 2b e 3b, respectivamente). Estes resultados estão de acordo com Garayo e Moreira (2002), que durante fritura de batata *chips* a vácuo, observaram uma correlação negativa entre a pressão reduzida e a taxa de perda de água para a mesma temperatura do óleo. Quanto mais a pressão é reduzida, menor é o ponto de ebulição da água, resultando em uma vaporização mais rápida da água dentro do produto.

Em relação à temperatura, comparando-se experimentos conduzidos à mesma

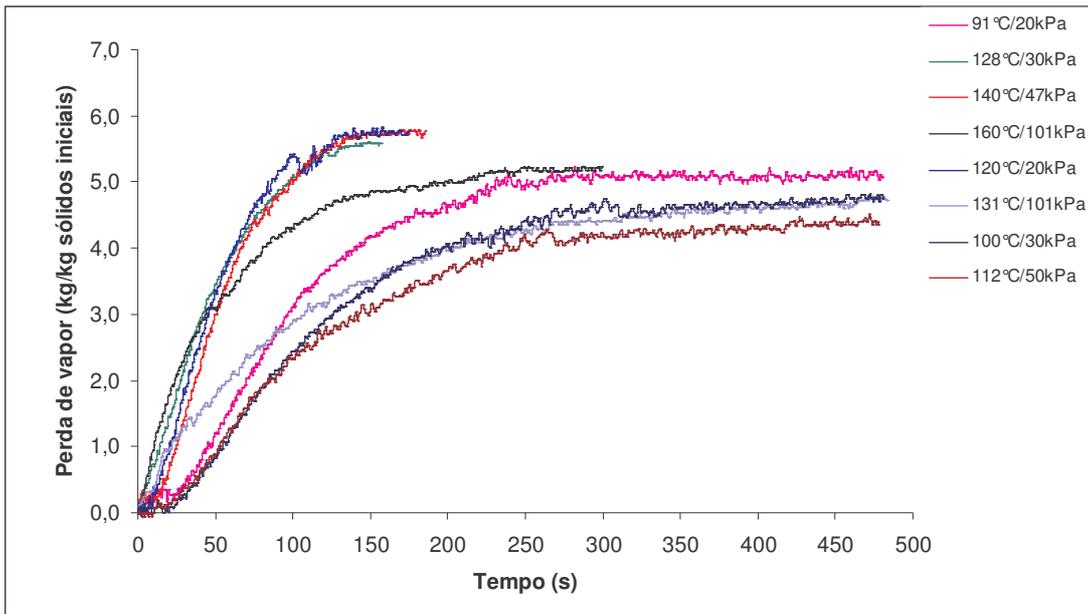
pressão, verifica-se que o aumento da temperatura resulta em maior taxa de secagem, maior perda de água e menor teor de umidade residual nos *chips*. Este comportamento foi similar para os experimentos conduzidos sob vácuo como à pressão atmosférica. O efeito positivo da temperatura no aumento da taxa de secagem durante o processo de fritura de produtos tipo *chips* foi observado por vários autores (BAUMANN e ESCHER, 1995; MOREIRA, CASTELL-PEREZ e BARRUFET, 1999; SHYU e HUNG, 2001; GARAYO e MOREIRA, 2002; VITRAC *et al.*, 2002).

Comparando-se os dois grupos de experimentos, verifica-se uma maior taxa de secagem para o grupo de maior gradiente de temperatura (58°C), mesmo quando se compara a condição de pressão atmosférica (160°C/101 kPa), com a condição de menor pressão, 20kPa e 91°C, do grupo de 29°C.

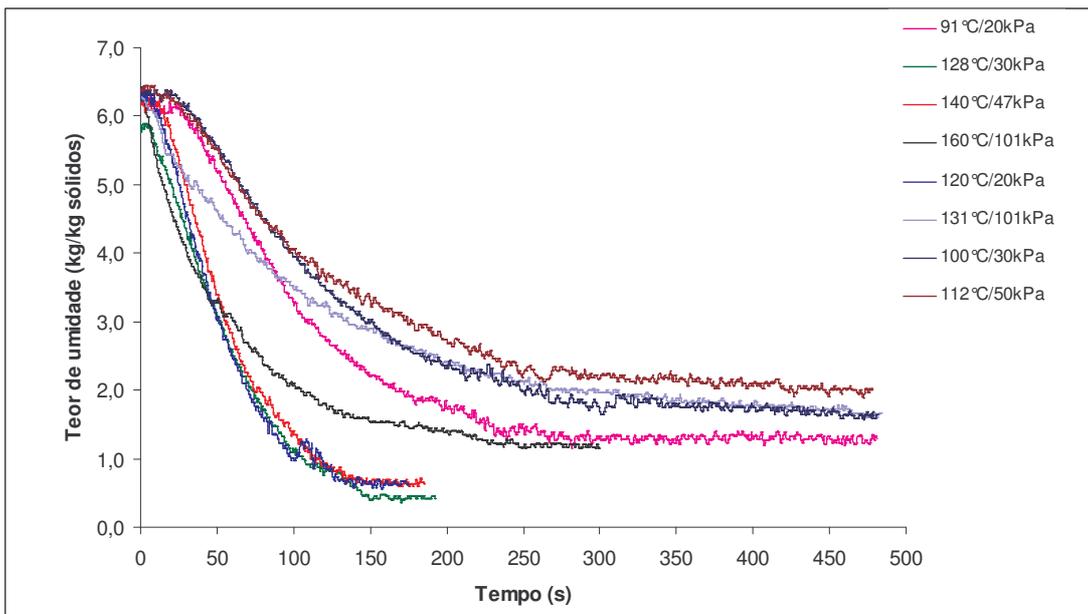
Estes resultados sugerem que a força motriz para que ocorra a vaporização é mais devida ao potencial de transferência de calor do que ao uso de pressão reduzida durante a fritura, nas condições de processo estudadas. A fritura com gradiente de temperatura de 58°C resultou, de uma maneira geral, em maiores valores de perda de água e menores teores de umidade residual nos *chips* de maçã.

Foi observado o mesmo comportamento para as cinéticas de perda de água obtidas para maçã *in natura* e pré desidratada.

O processo de fritura para fatias de maçã *in natura* e pré desidratada diferiu nos valores da taxa de remoção perda de água. Após a desidratação osmótica, o teor inicial de umidade diminuiu de cerca de 6,2kg/kg matéria seca para 2,3kg/kg matéria seca. Assim, a quantidade de água perdida na forma de vapor durante o processo de fritura é menor.

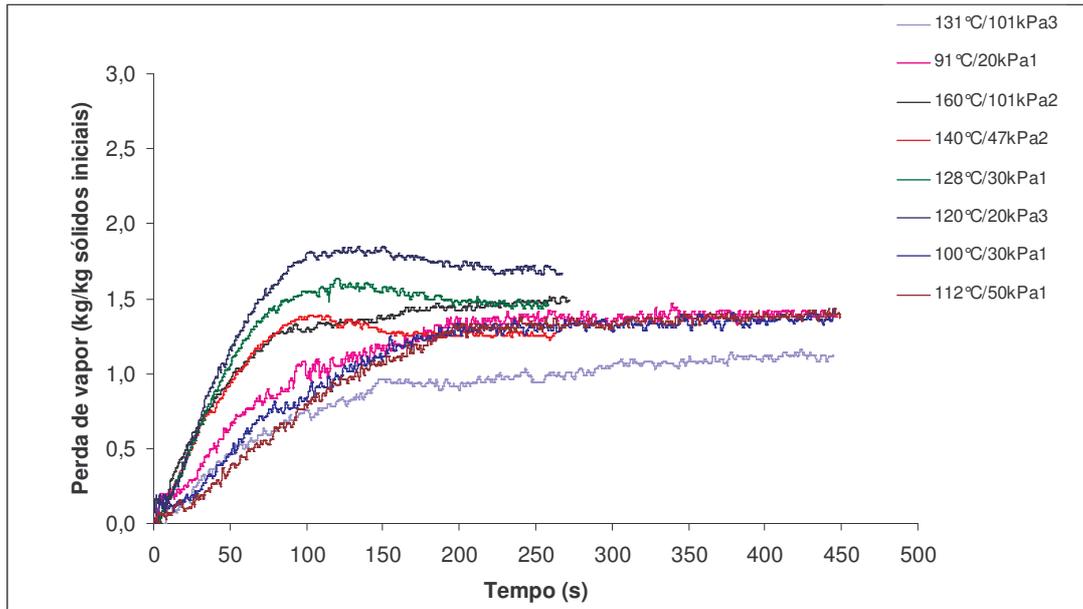


(a)

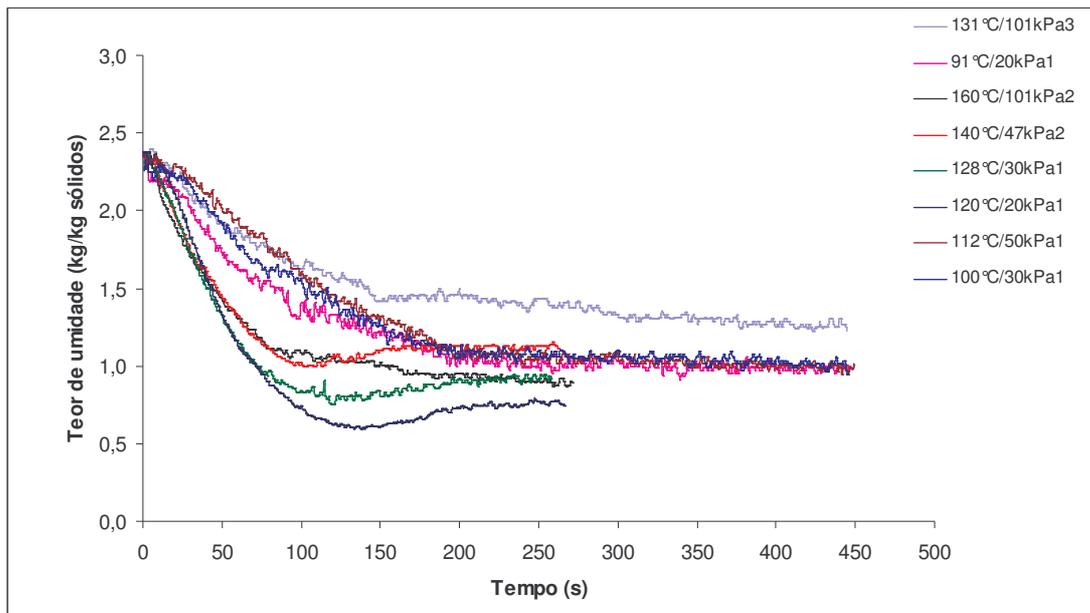


(b)

**Figura 2.** Cinéticas de perda de água relativas ao teor de umidade (a) e perda de água (b) durante a fritura de fatias de maçã *in natura* sob diferentes condições de temperatura e pressão.



(a)



(b)

**Figura 3.** Cinéticas de perda de água relativas ao teor de umidade (a) e perda de água (b) durante a fritura de fatias de maçã pré desidratada sob diferentes condições de temperatura e pressão

## Parte II:

### Comparação entre as diferentes condições de temperatura e pressão

#### Parâmetro L\*

Os resultados obtidos do parâmetro L\* para os *chips* de maçã submetidos à fritura estão apresentados nas Figuras 4a e 4b. Pode-se perceber que ocorreu um maior decréscimo na luminosidade dos *chips* nos tempos de 140 e 180 segundos de fritura, para a maçã *in natura*, e no tempo de 180 segundos para a maçã pré desidratada osmoticamente, na condição de pressão atmosférica (101kPa) e 160°C. No caso da maçã *in natura*, esta queda do parâmetro L\* foi mais acentuada, com um decréscimo deste valor de 75,8 (100s) para 47 (140s) e 47,8 (180s); para a maçã desidratada a diminuição de luminosidade foi menor, de 80,9 (140s) para 61,3 (180s).

Para os *chips* submetidos ao processo de fritura sob as pressões reduzidas de 20, 30 e 47 kPa praticamente não ocorreram mudanças no valor do L\*, tanto para a maçã *in natura* como para a desidratada. Ou seja, o processo de fritura sob pressões reduzidas manteve a luminosidade inicial da matéria prima, não ocorrendo reações de escurecimento não enzimático.

#### Parâmetro a\*

As Figuras 5a e 5b mostram a evolução do parâmetro a\* com o tempo de fritura de *chips* de maçã *in natura* e pré desidratada, respectivamente. O parâmetro a\* varia de -a(verde) a +a (vermelho).

Foram utilizadas maçãs no ponto de maturação verde, apresentando uma tonalidade esverdeada da polpa, e portanto com valor de a\* negativo. Esta tonalidade de cor é devido à maior presença de clorofila que no fruto verde mascara a cor dos outros pigmentos (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

Verifica-se que tanto para a maçã *in natura* (Figura 5a) e pré desidratada (Figura 5b) houve um aumento marcante do valor deste parâmetro para a condição de pressão atmosférica e temperatura de 160°C. Para a maçã *in natura* o valor passou de negativo (-6,9) a 14, enquanto que para as fatias desidratadas a mudança foi de -2,7 a 7,8.

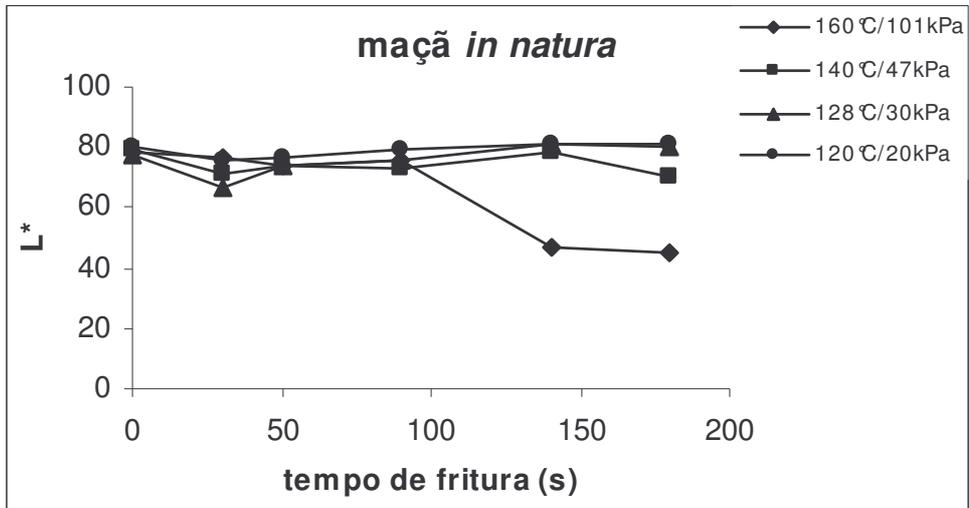
No caso da maçã *in natura* o efeito da pressão no aumento do valor do parâmetro  $a$  é bem nítida, podendo-se perceber que em uma pressão intermediária (40kPa), os *chips* já apresentam uma mudança significativa neste parâmetro de cor. Para as condições de pressão mais reduzida (20 e 30 Kpa), o aumento no parâmetro foi menos significativo. Pode-se dizer que as amostras submetidas à fritura à pressão ambiente ficaram mais vermelhas, ou, mais queimadas, que aquelas fritas à pressão reduzida.

#### *Parâmetro $b^*$*

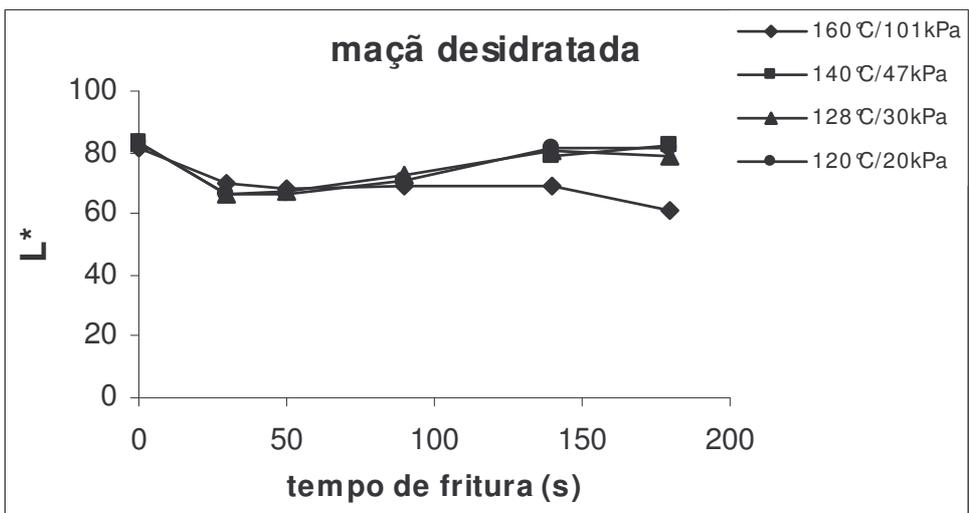
Os resultados obtidos do parâmetro  $b^*$  dos *chips* de maçã submetidos à fritura estão apresentados nas figuras 6a e 6b. O parâmetro  $b$  varia de  $-b$  (azul) a  $+b$  (amarelo); no caso da maçã *in natura*, pode-se perceber um aumento do valor  $b^*$  ao longo do tempo, para as condições de pressão reduzida, enquanto que para a pressão ambiente ocorreu um aumento até o tempo de 140s de processo, com queda ao valor inicial no processo de 180s. Devido à desidratação sofrida durante o processo de fritura, há uma concentração dos pigmentos e portanto aumento do valor de  $b^*$ . No caso da maçã desidratada o valor do parâmetro  $b^*$  se manteve praticamente inalterado para as condições de pressão reduzida, enquanto que na fritura à pressão atmosférica ocorreu um aumento de 16,9 no tempo zero a 29,3 para o tempo final de 180s, indicando que a amostra se tornou mais amarela.

Shyu e Hwang, em estudo sobre fritura a vácuo de maçã Red Delicious (pressão absoluta de 2,67 kPa), verificaram um decréscimo da luminosidade dos *chips* e aumento de  $a^*$  e  $b^*$  nos *chips* com o aumento da temperatura e do tempo de processo.

Garayo e Moreira (2002) verificaram diferenças significativas entre os parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  de *chips* de batata fritos à pressão atmosférica (à temperatura de 165°C) e sob vácuo (pressão absoluta de 3,115 kPa e temperatura de 144°C). Os *chips* fritos sob vácuo apresentaram maior luminosidade, e menor valor de  $a^*$ , devido à menor intensidade da reação de escurecimento não enzimático (Maillard), resultando em um produto mais claro e portanto mais desejável em batata *chips*.

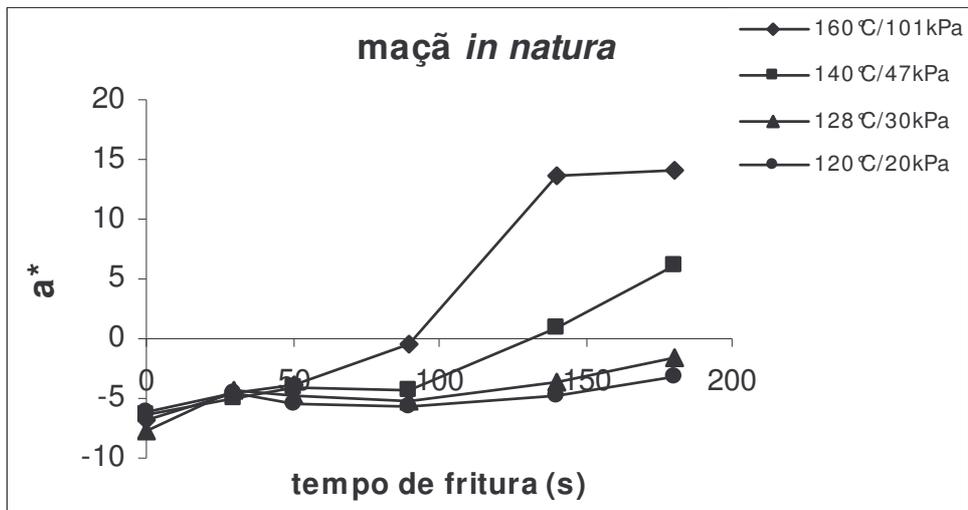


(a)

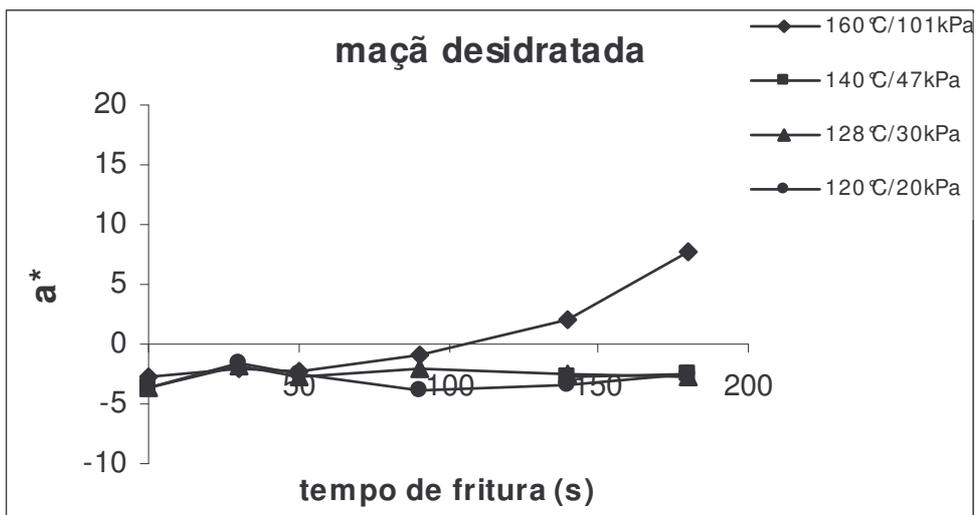


(b)

**Figura 4:** Efeito de diferentes condições de pressão e temperatura no parâmetro  $L^*$  de cor durante fritura de maçã *in natura* (a) e pré desidratada (b).

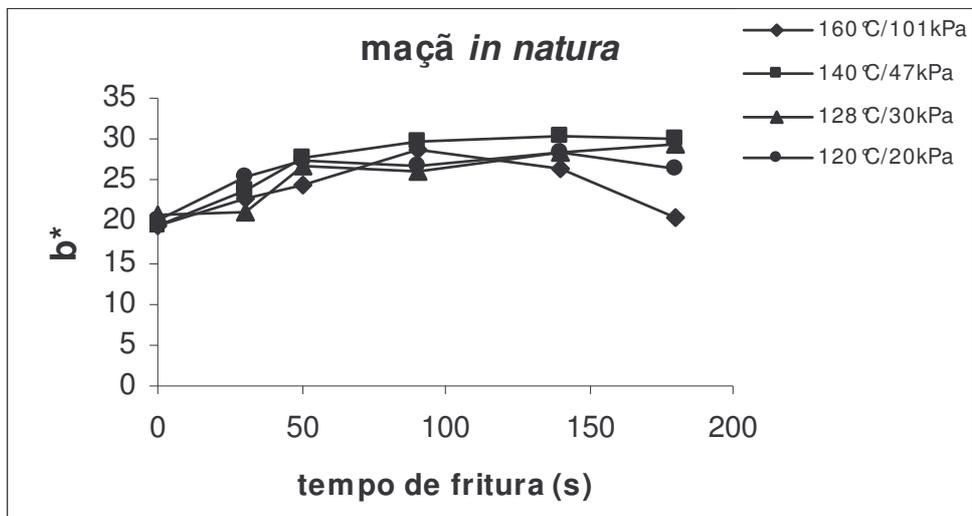


(a)

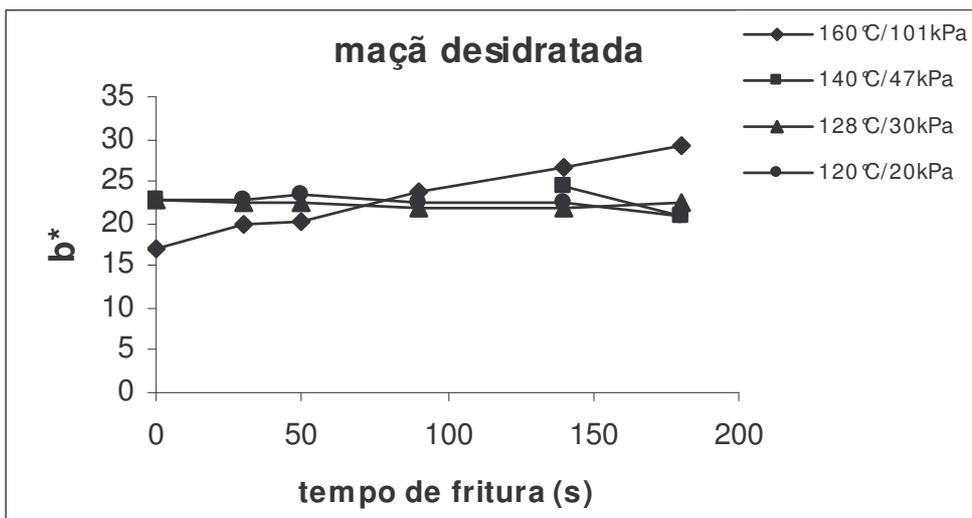


(b)

**Figura 5:** Efeito de diferentes condições de pressão e temperatura no parâmetro  $a^*$  de cor durante fritura de maçã *in natura* (a) e pré desidratada (b).



(a)



(b)

**Figura 6:** Efeito de diferentes condições de pressão e temperatura no parâmetro  $b^*$  de cor durante fritura de maçã *in natura* (a) e pré desidratada (b).

### **Efeito do pré tratamento de desidratação osmótica no desenvolvimento da cor**

A Figura 7 apresenta a evolução da luminosidade ( $L^*$ ) para maçã *in natura* e pré desidratada em cada condição de temperatura e pressão estudadas.

Verifica-se que para as condições mais elevadas de temperatura e pressão (160°C/101kPa e 140°C/47kPa), maior é o efeito do pré tratamento na manutenção da luminosidade ( $L^*$ ) das fatias de maçã submetidas à fritura, ao decorrer do tempo de processo.

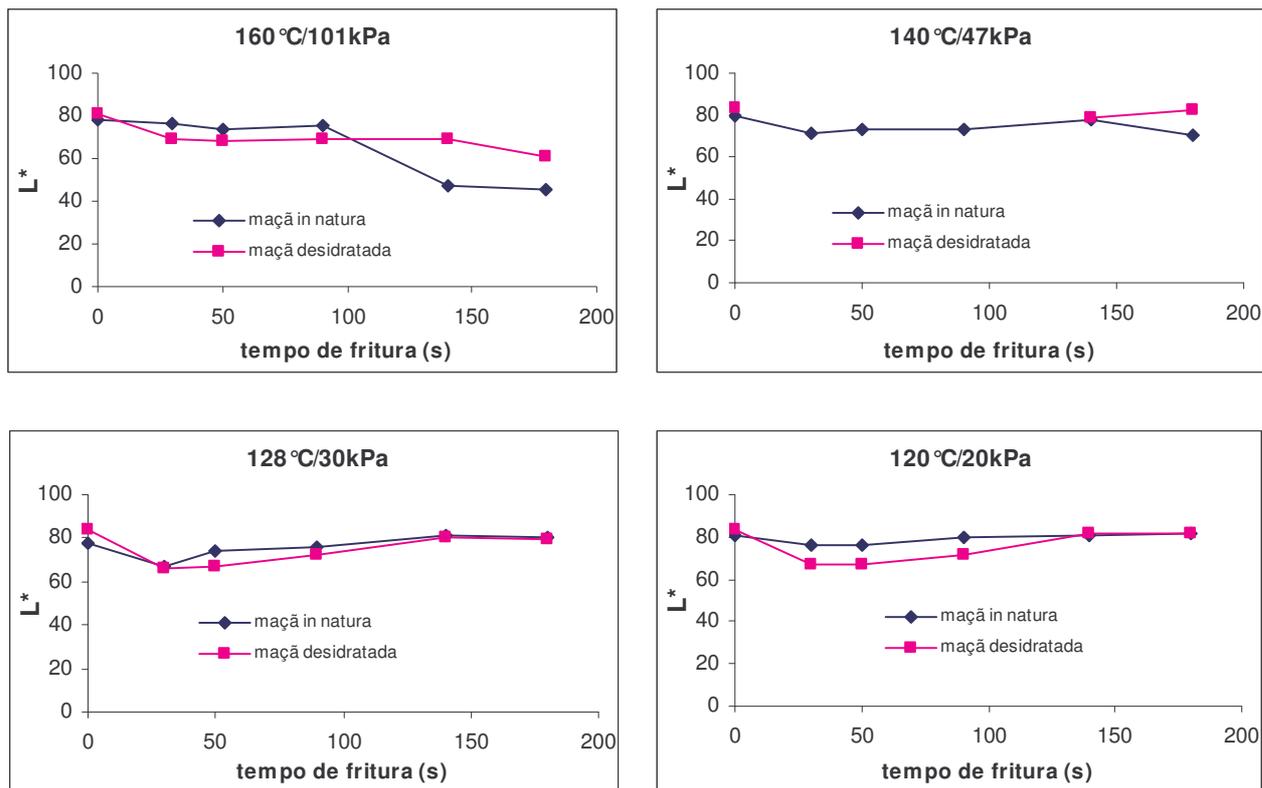
Ao se trabalhar sob condições mais reduzidas de pressão e temperatura (128 °C/30 kPa e 120° C/20 kPa), praticamente não existe diferença no valor final (180s de fritura), e portanto, praticamente nenhum efeito do pré tratamento na luminosidade da amostra.

Assim como observado para a luminosidade, pode-se verificar na Figura 8 um efeito maior da desidratação osmótica como pré tratamento à fritura nas condições de maior temperatura e pressão (160°C/101kPa e 140°C/47kPa), minimizando o desenvolvimento de cor “avermelhada” (parâmetro  $a^*$ ) nos *chips*.

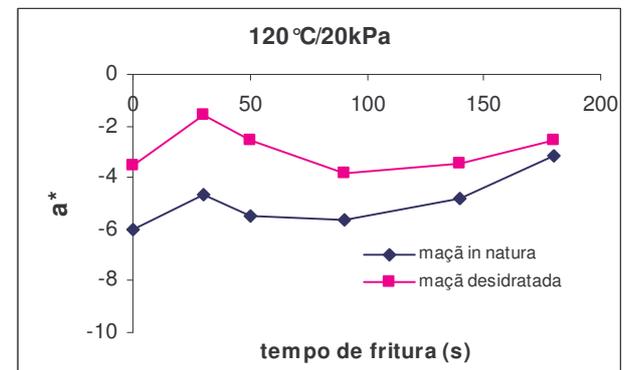
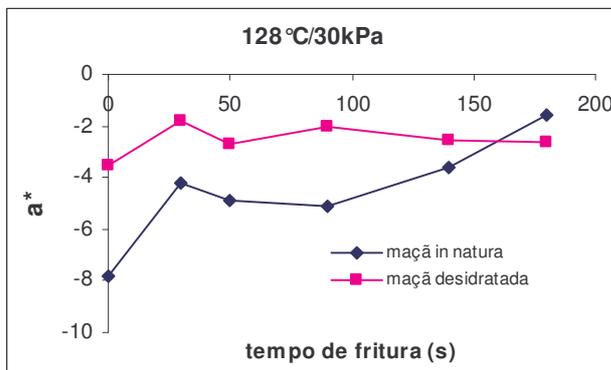
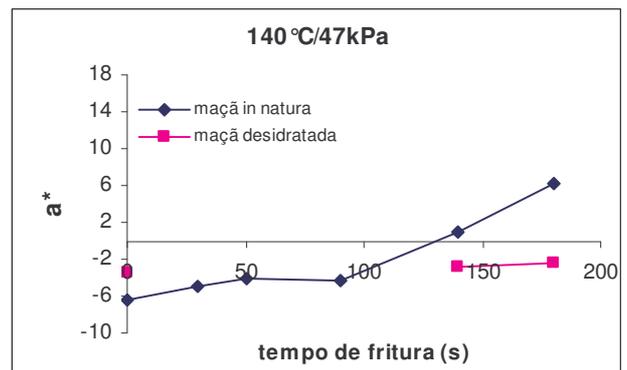
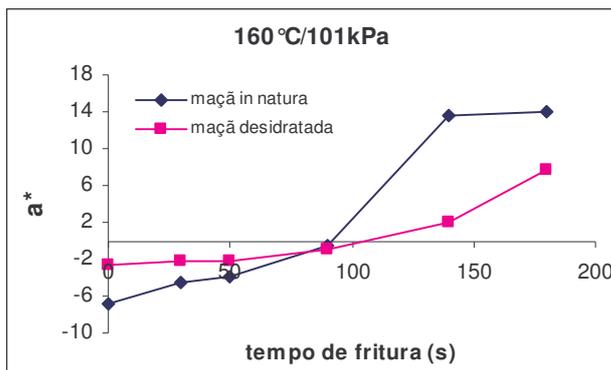
Utilizando condições mais reduzidas de pressão e temperatura (128°C/30kPa e 120°C/20kPa), praticamente não existe diferença no valor final (180s de fritura), e portanto, nenhum efeito do pré tratamento no parâmetro  $a$  da amostra.

No caso do parâmetro  $b^*$  (amarelo), com exceção da condição 160°C/101kPa, onde a desidratação levou a um aumento do mesmo, nas outras condições o valor inicial (tempo zero de fritura) praticamente se manteve estável ao final do processo (180s) (Figura 9), não mostrando um efeito sobre o desenvolvimento da cor amarela nos *chips* no decorrer do tempo de fritura.

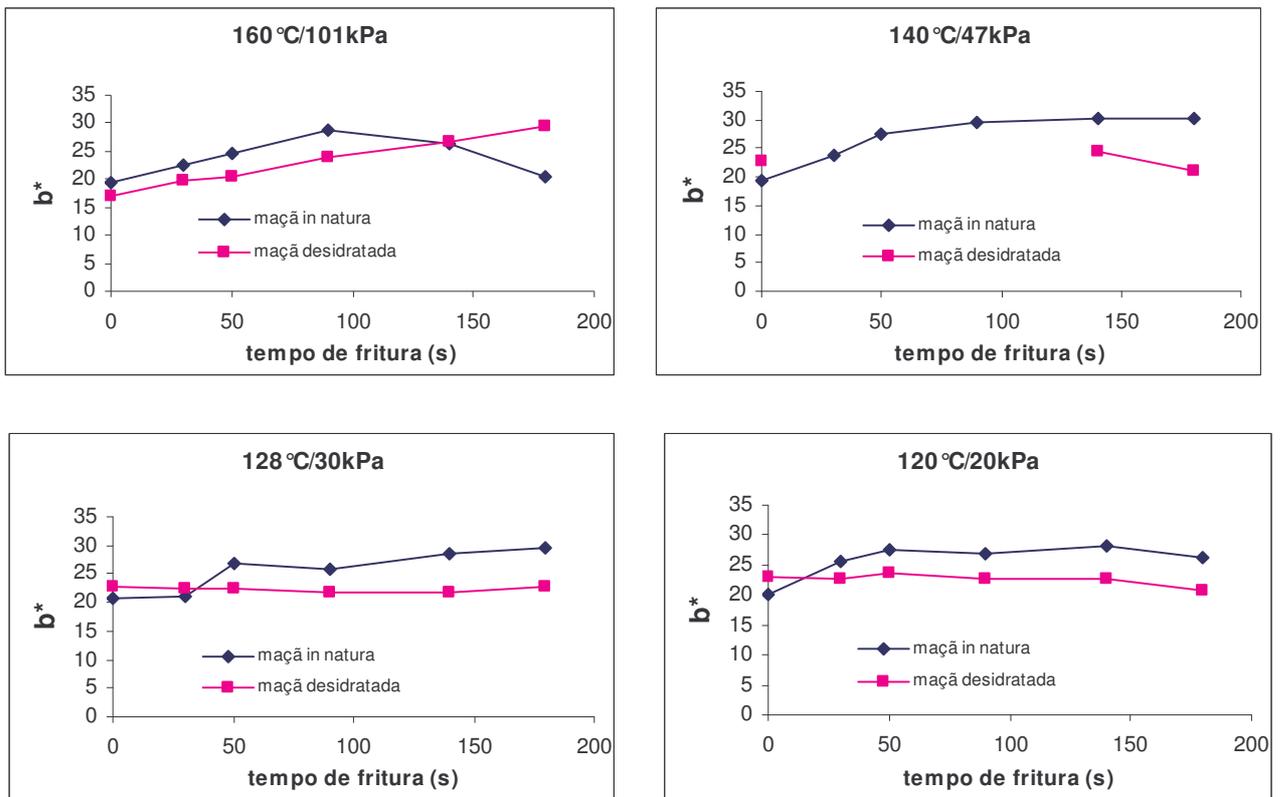
Os *chips* obtidos de maçã *in natura* e pré desidratada, submetidos à fritura na condição de maior pressão (101kPa e 160°C) e menor pressão (20kPa e 120°C) podem ser visualizados na Figura 10.



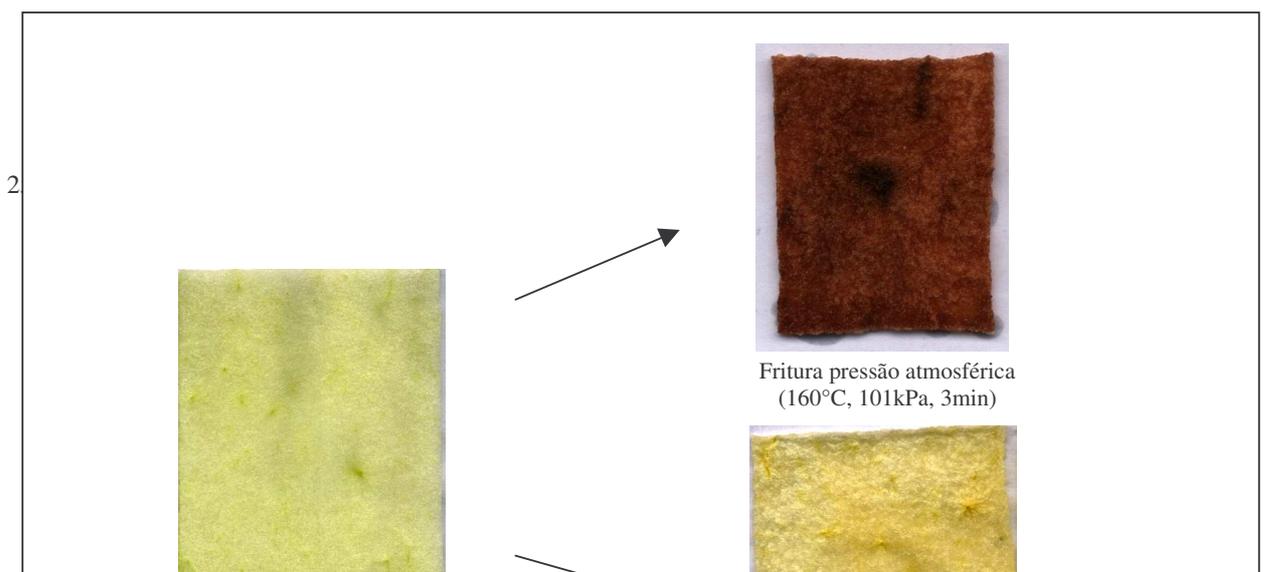
**Figura 7:** Efeito do pré tratamento osmótico no parâmetro L\* de cor e de maçã submetida à fritura em diferentes condições de pressão e temperatura.



**Figura 8:** Efeito do pré tratamento osmótico no parâmetro  $a^*$  de cor e de maçã submetida à fritura em diferentes condições de pressão e temperatura.



**Figura 9:** Efeito do pré tratamento osmótico no parâmetro  $b^*$  de cor e de maçã submetida à fritura em diferentes condições de pressão e temperatura.



**Figura 10:** Cor de *chips* de maçã *in natura* e pré desidratada submetidas à fritura em diferentes condições de pressão e temperatura.



## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho sugeriram que o uso de pressão reduzida tem efeito positivo no aumento da taxa de perda de água na forma de vapor ocorrida durante o processo de fritura, porém esta taxa é ainda mais influenciada pelo gradiente de transferência de calor, ou seja, a diferença de temperatura entre a temperatura de trabalho (óleo) e o ponto de ebulição da água no produto.

A aplicação do vácuo proporciona o uso de temperaturas mais baixas de processo (óleo), ao mesmo tempo que reduz o tempo de residência do produto para atingir um teor de água requerido para caracterizar um produto tipo *chips*, resultando em:

- Minimização do desenvolvimento de cor do produto, podendo-se praticamente manter a cor natural da fruta quando da aplicação de pressão reduzida
- Maior rapidez do processo (secagem do produto)
- Diminuição da incorporação de óleo pelo produto, quando comparado à condição de pressão atmosférica, verificado em trabalho paralelo utilizando a mesma metodologia de processo, realizado por Querido (2005).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. 119 p. Memorial apresentado para obtenção de diploma – École Practique des Hautes Etudes, Sciences de la Vie et de la Terre, Montpellier, França, 1998.

BLUMENTHAL, M. M.; STIER, R. F. Optimisation of deep fat frying operations. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, n. 3, p. 144-148, 1991.

GARAYO, J.; MOREIRA, R. Vacuum frying of potato chips. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 181-191, 2002.

MOREIRA, R. G.; CASTELL-PEREZ, M. E.; BARRUFET, M. A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 350 p.

QUERIDO, A. F. **Estudo de técnicas na minimização da incorporação de óleo durante o processo de fritura de maçã**. 2005. 219 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RAOULT-WACK, A. L.; BRICAS, N. Vers une évolution des démarches de Recherche et Développement dans le secteur Agro-Alimentaire. Le cas de la friture. **Oléagineux Corps gras Lipides, dossier “Maîtrise du procédé de friture et qualité des produits”**, v. 5, n. 1, p. 47-51, janvier/février 1998.

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.

SHYU, S. L.; HAU, L.; HWANG, L. S. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *Journal of American Oil Chemical Society*, v. 75, p. 1393-1398, 1998.

VAILLANT, F. **Producción de chips de frutas tropicales mediante acoplamiento DII-fritura bajo vacío**. Material apresentado durante “Workshop sobre Fritura” realizado por CIRAD, FEA-UNICAMP, UNESP, ITAL. Campinas, 23 de novembro de 1999. 16 transparências.

VITRAC, O. **Caractérisation expérimentale et modélisation de l'opération de friture.** 2000. 326 p. Tese (Doctorat en Génie de Procédés) - École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, França, 2000.

VITRAC, O.; DUFOUR, D.; TRYSTAM, G.; RAOULT-WACK, A. L. Characterization 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 Science Technology**, v. 102, p. 529-538, 2000.

## CONCLUSÕES FINAIS

A partir de todos os estudos realizados para se otimizar as condições do processo combinado de desidratação osmótica e fritura, para obtenção de *chips* de manga de qualidade físico-química, como baixo teor de óleo, e sensorial, pôde-se chegar às seguintes conclusões e parâmetros de trabalho:

Em relação às condições de uso do óleo de fritura:

- A menor razão de produto: óleo (1:40) utilizada para fritura de fatias de manga previamente desidratadas osmoticamente resultou em uma maior homogeneidade do processo, com menor queda da temperatura inicial e sua maior rapidez na sua recuperação, sendo estipulada para os ensaios posteriores.
- A fritura de manga pré desidratada osmoticamente por 15 vezes ininterruptas no mesmo óleo (de palma) não causou perda de qualidade do produto e do próprio óleo, sendo este número de reutilização estipulado para os ensaios posteriores.
- A espessura de 3mm das fatias de manga, sem descascamento, foi a mais adequada para garantir uma perda de água satisfatória juntamente com uma baixa incorporação de óleo durante a fritura.

Em relação à matéria-prima:

- O estado de maturação da manga afetou de forma significativa a qualidade dos *chips* finais. Os produtos fritos obtidos de manga madura, nas duas variedades estudadas, apresentaram elevados teores de umidade, resultando em falta de crocância típica em produtos *chips* e provavelmente de estabilidade microbiológica.
- As duas variedades estudadas, Tommy Atkins e Palmer, nos estágios de maturação “de

vez” e verde, resultaram em *chips* similares, com boas características de qualidade, como baixo teor de lipídeos e umidade, e boa aceitação sensorial.

- Os *chips* de manga Palmer apresentaram menor higroscopicidade que os *chips* de manga Tommy Atkins, no estado de maturação “de vez”, contudo ambos se mostraram pouco higroscópicos e portanto com boa estabilidade em relação ao ganho de umidade.
- Os *chips* de manga Palmer e Tommy Atkins apresentaram microestrutura porosa, com encolhimento da matriz celular e células plasmolizadas, resultado da rápida evaporação da água na superfície do material durante o processo de fritura a alta temperatura e presença de glóbulos de óleo aderidos na superfície ou nos poros.

Em relação ao pré tratamento de desidratação osmótica:

- Nos ensaios preliminares, verificou-se que o processo de desidratação osmótica, conduzido à pressão ambiente, com agitação do sistema, promoveu uma maior incorporação de sólidos no material em relação ao processo sob pequena redução da pressão, com circulação natural, resultando em melhoria da qualidade final dos *chips* fritos de manga, como menor teor de umidade, maior luminosidade e preferência sensorial.
- A transferência de massa (perda de água e incorporação de sólidos), ocorrida durante o processo de desidratação osmótica das fatias de manga, foi influenciada positiva e significativamente pelas condições de temperatura e o tempo de processo.
- O uso de banhos sequenciados de solução osmótica de concentração crescente, apesar de aumentar a incorporação de sólidos do produto previamente à fritura, não resultou em melhoria da qualidade final dos *chips*, visto pelas características físicas, físico químicas e sensoriais. Assim, a desidratação osmótica em apenas um banho de 65°Brix de sacarose, entre 1h20min a 2h, a 40°C e 200 rpm, foi a mais indicada como pré tratamento ao processo de fritura para obtenção de *chips* de manga, pela economia de

tempo, energia e menor perda dos compostos da fruta para a solução osmótica.

Em relação às condições do processo de fritura:

- As condições de tempo e a temperatura de fritura influenciaram de forma significativa praticamente todas as respostas estudadas. O teor de umidade, os parâmetros de cor L\* (luminosidade) e b\* (amarelo), diminuíram com o aumento das variáveis, enquanto que o teor de lipídeos e o parâmetro de cor a\* (vermelho) aumentaram. Para a aceitação sensorial, os atributos aparência, cor, sabor e aroma sofreram influência negativa das variáveis do processo, indicando que o aumento do tempo e da temperatura resultou em menor aceitação dos *chips* pela equipe de provadores. O aumento do tempo de fritura levou a uma melhor aceitação sensorial da textura dos *chips*.
- Estipulando-se as respostas teor de umidade (relacionada à característica de crocante, desejável neste tipo de produto) e aceitação da cor e do sabor dos *chips*, escolhidas para se determinar a faixa ótima de trabalho e fazendo-se a sobreposição das respectivas superfícies de contorno, determinou-se a faixa de 155 a 165°C e 140 a 180 s como ótima de trabalho, levando a *chips* com umidade inferior a 7% e aceitação dos atributos superior a “gostei ligeiramente”.
- A taxa de perda de água durante o processo de fritura dependeu essencialmente da diferença entre a temperatura do óleo e o ponto de ebulição da água no produto (gradiente de temperatura), e para o mesmo gradiente a pressão reduzida teve um efeito maior que a temperatura.
- Os resultados revelaram a grande vantagem de aplicação de vácuo no processo de fritura de maçã, com a obtenção de *chips* sem praticamente nenhum escurecimento em relação ao material *in natura*, podendo assim ser aplicado à fritura de manga.

A aplicação do processo combinado desidratação osmótica – fritura (à pressão

atmosférica) para obtenção de *chips* de manga se mostrou prática, sem a necessidade de equipamentos sofisticados, econômica (uso de materiais abundantes e baratos, como a manga e a sacarose), resultando em um produto de boas características de qualidade, com baixos teores de umidade (na faixa de 2-5%) e de lipídeos (11-13%), com alto teor de fibras e razoável de vitamina C, e boa aceitação sensorial (6-7), revelando-se uma ótima aplicação de tecnologia para desenvolvimento de um novo produto e agregação de valor à matéria-prima.

## Citações dos trabalhos apresentados/publicados

### *Capítulo 2:*

TOREZAN, G. A. P.; QUERIDO, A. F.; MENEZES, H. C.; GARCÍA, N. H. P.; PALLET, D. Estudo da viabilidade da reutilização de óleo de fritura baseado nas características de “chips” de frutas. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 4., 2001, Campinas, **Anais...**, n. 0754-250, p. 228.

### *Capítulo 3:*

TOREZAN, G.A.P., FAVARETO, P.C., PALLET, D., MENEZES, H.C. AND REYNES, M. Use of a combined process of osmotic dehydration and deep-fat frying to obtain mango chips from the cultivar Tommy Atkins. **Acta Horticulturae**, v. 645, p.285-291, 2004.

### *Capítulo 4:*

TOREZAN, G. A. P.; FAVARETO, P. C. C.; PALLET, D. ; MENEZES, H. C. Osmotic dehydration of mango: effects of temperature and process time. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, São Paulo. **Proceedings...**, v. C, p. 2165-2172.

### *Capítulo 5:*

TOREZAN, G. A. P.; MENEZES, H. C. (a) Efeito do uso de diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica na qualidade final de *chips* de manga: aceitação sensorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 19., 2004, Recife. **Anais... 1CD-ROM**.

TOREZAN, G. A P.; MENEZES, H. C. (b) Efeito do uso de diferentes pré tratamentos de desidratação osmótica na qualidade final de *chips* de manga: teores de sólidos totais, de lipídeos e parâmetros de cor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 19., 2004, Recife. **Anais...** 1CD-ROM.

**Capítulo 8:**

TOREZAN, G A P; MENEZES, H C; SILVA, M A. Microstructure and adsorption characteristics of mango chips obtained by osmotic dehydration and deep fat frying. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE (IADC), 3., 2005, Montreal. **Proceedings...**

**Capítulo 9:**

TOREZAN, G. A. P.; QUERIDO, A. F. ; MENEZES, H. C. ; PALLET, J. P. D. ; REYNES, M. ; BOHUON, P. Mass transfer during apple deep fat frying under reduced pressure. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENGINEERING AND FOOD, 9., 2004, Montpellier. **Proceedings...** 1CD-ROM.

