



**LETÍCIA FERNANDES DE OLIVEIRA**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE  
VÁCUO E SECAGEM À VÁCUO DE YACON  
(*Smallanthus sonchifolius*)**

**LAVRAS – MG**

**2014**

**LETÍCIA FERNANDES DE OLIVEIRA**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE VÁCUO E SECAGEM  
À VÁCUO DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Coorientador

Dr. Michel Cardoso de Angelis Pereira

**LAVRAS - MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Oliveira, Leticia Fernandes de.

Desidratação osmótica com pulso de vácuo e secagem à vácuo de  
yacon (*Smallanthus sonchifolius*) / Leticia Fernandes de Oliveira. –  
Lavras: UFLA, 2014.

154 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. Frutose. 2. Sorbitol. 3. Frutanos. 4. Cinética de secagem. 5.  
Reuso da solução osmótica. 6. Yacon - Desidratação osmótica. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.8052

**LETÍCIA FERNANDES DE OLIVEIRA**

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE VÁCUO E SECAGEM  
À VÁCUO DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 19 de dezembro de 2013.

Dr. Jaime Vilela de Resende	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Malta	EPAMIG
Dra. Renata Valeriano Tonon	EMBRAPA
Dra. Soraia Vilela Borges	UFLA

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa  
Orientador

Dr. Michel Cardoso de Angelis Pereira  
Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2013**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar em todos os momentos.

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade e a estrutura concedida para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa, pela orientação e os valiosos ensinamentos, os quais levo comigo para a vida profissional, e por toda a dedicação.

Aos colegas de laboratório, por todo o companheirismo e pela cooperação. Em especial, a Marina, amiga e companheira de trabalho.

À banca examinadora, Jaime Vilela de Resende, Marcelo Ribeiro Malta, Renata Valeriano Tonon e Soraia Vilela Borges, pelo intercâmbio de ideias e sugestões.

À professora Alcinéia L. S. Ramos, pela grande ajuda, disponibilidade e troca de conhecimentos. Aos professores Michel Cardoso e Luís Roberto Batista, por todo o auxílio e pela dedicação. Aos colegas Fausto e Luiza, pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho.

Aos Departamentos de Solos e de Química, pela recepção e ajuda.

A toda a minha família, pelo alicerce, ternura e confiança.

Ao Leo, pela compreensão e amor.

Aos colegas de doutorado e amigos, companheiros de todas as horas.

Às amigas Thais, Aline e Lili, por toda a amizade e pelos momentos de distração.

À CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq, por proporcionarem as condições necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que se fizeram presentes e que torceram por mim.

## RESUMO

No estado de Minas Gerais, 10% da população adulta são acometidos de diabetes. O yacon é um alimento indicado para portadores de diabetes, por ser um tubérculo rico em fruto-oligosacarídeos, compostos redutores do índice glicêmico. Porém, além de sazonal, o yacon tem curta vida de prateleira. Processos de secagem precedidos por desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) são adequados para a manutenção das características sensoriais, nutricionais, de vida útil e disponibilidade de alimentos. Objetivou-se, neste trabalho, otimizar a secagem de yacon precedida por PVOD, buscando um produto desidratado que apresentasse as menores alterações físicas, químicas e nutricionais, com relação ao produto fresco. Primeiramente, encontrou-se o tempo total de 300 minutos como sendo o ideal para a PVOD, no qual as perdas de água (PA) e de peso (PP) encontravam-se em equilíbrio. Depois, testou-se, na PVOD, a influência de quantidade de vácuo (49,4 a 200,6 mmHg), temperatura (24 a 44 °C) e concentração da solução osmótica (22 a 60,8 °Brix) e de tipos de agente osmótico (frutose e sorbitol). Encontrou-se um valor ótimo de PVOD em 38 °Brix de solução de sorbitol, a 35°C e com aplicação de 74 mmHg de vácuo nos 10 primeiros minutos de desidratação. Nestes parâmetros de PVOD obteve-se uma retenção de frutanos de 53,77 %, com expressiva PA (62,35%). O reuso da solução osmótica também foi avaliado, chegando-se à conclusão de que é possível reutilizar a solução osmótica, nas condições estudadas neste trabalho, por até quinze ciclos, sem que haja alterações físico-químicas ou microbiológicas indesejáveis na solução osmótica. Com os parâmetros estabelecidos para a PVOD analisou-se a secagem a vácuo dos yacons pré-tratados. Testou-se, na secagem a vácuo, a temperatura de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C), chegando-se à conclusão de que a temperatura de 60 °C é mais eficiente na conservação dos frutanos e na razão tempo por perda de água do produto. Para esta temperatura, analisou-se o efeito do uso ou não do pré-tratamento de PVOD e da secagem a vácuo *versus* a secagem convectiva. Conclui-se que a associação do pré-tratamento por PVOD com a secagem a vácuo induz a menores alterações no yacon seco, principalmente com relação à perda de frutanos. Amostras pré-tratadas na PVOD otimizada e secas em estufa a vácuo a 60 °C retiveram 37,72% do teor de frutanos iniciais, em um teor de umidade final da amostra de 12%. Como resultado desta pesquisa, pode-se apontar o beneficiamento do tubérculo de yacon como uma alternativa para indivíduos com disglucemias e para indivíduos que procuram manter a atividade probiótica no trato digestório.

Palavras-chave: Desidratação osmótica com pulso de vácuo. Secagem a vácuo. Frutose. Sorbitol. Reuso da solução osmótica.

## ABSTRACT

In the state of Minas Gerais, 10% of the adult population is affected by diabetes. Yacon is commonly consumed by people suffering from diabetes due to its naturally high fructooligosaccharides (FOS) content. It was shown that this compound aids to reduce the level of glucose in the blood. However, yacon is a seasonal plant and presents short shelf-life. Drying processes preceded by pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) are suitable for keeping sensory, nutritional, useful life and food availability characteristics. The goal of this work was to optimize the drying of yacon preceded by PVOD, seeking a dehydrated product that presents the smallest physical, chemical and nutritional changes with respect to fresh product. First, find the total time of 300 min as ideal for PVOD, where water (PA) and weight loss (PP) were in balance. Afterwards, it was tested in PVOD, the influence of vacuum application (49.4 to 200.6 mmHg), temperature (24 to 44 °C) and concentration of the osmotic solution (22 to 60.8 °Brix) and type of osmotic agent (fructose and sorbitol). Leading to a great value for PVOD at 38 °Brix of sorbitol solution, 35 °C and applying a vacuum of 74 mmHg in the first 10 minutes of dehydration. These parameters of PVOD gave 53.77 % of fructan retention with significantly PA (62.35 %). The reuse of the osmotic solution was also evaluated, reaching the conclusion that it is possible to reuse the osmotic solution, under the conditions studied in this work, for up to fifteen cycles, without physico-chemical or microbiological undesirable changes. With the parameters established for PVOD analyzed the vacuum drying of pretreated yacons. Was tested in the vacuum drying, the drying temperature (40, 50 and 60 °C), leading to the conclusion that 60 °C is more efficient in conserving the fructans in the reason time for loss of water from the product. Within this temperature, analyzed the effect of the use or not use the pre-treatment PVOD and vacuum drying verses convective drying. Concluding that the association of PVOD pretreatment with vacuum drying induces minor changes in the dry yacon, particularly with respect to loss of fructans. Samples pre-treated in the optimized PVOD and dried in an oven at 60 °C retained 37.72 % of the initial fructans content, in a final moisture content of the sample by 12 %. The drying processing of yacon tuber can be pointed as an alternative for individuals with diabetic and individuals seeking to maintain probiotic activity in gastrointestinal tract.

Keywords: Pulsed vacuum osmotic dehydration. Vacuum drying. Fructose. Sorbitol. Reuse of osmotic solution.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

Figura 1	Detalhamento do sistema experimental (sendo 1 - interior do desidratador osmótico; 2 - interior da camisa do equipamento; 3 - comunicação da camisa do desidratador com o banho termostaticado; 4 - saída para a retirada da solução osmótica; 5 - motor acoplado à pá no interior do desidratador para promover agitação; 6 - bomba de vácuo) .....	43
Figura 2	Esquema representativo do experimento de PVOD.....	44
Gráfico 1	Cinéticas de perda de peso (PP) de yacons desidratados osmoticamente, em solução de frutose e de sorbitol.....	53
Gráfico 2	Cinéticas de perda de água (PA) de yacons desidratados osmoticamente, em solução de frutose e sorbitol .....	53
Gráfico 3	Cinéticas de ganho de sólidos (GS) de yacons desidratados osmoticamente, em solução de frutose e de sorbitol.....	54
Gráfico 4	Fração de difusão (1-Y) obtida experimentalmente e calculada pelo ajuste do modelo hidrodinâmico .....	57

### CAPÍTULO 3

Gráfico 1	Superfície de resposta para a PP em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c) .....	72
Gráfico 2	Superfície de resposta para a PA em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c) .....	73
Gráfico 3	Superfície de resposta para o GS em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e T e PV (c) .....	74
Gráfico 4	Superfície de resposta para a Aw das amostra DO em solução de frutose em termos de T e CS (a), do CS e PV (b) e T e PV (c) .....	75
Gráfico 5	Valores preditos <i>versus</i> valores observados para o parâmetro C em solução de frutose .....	78
Gráfico 6	Valores preditos <i>versus</i> valores observados para o parâmetro $\Delta E$ em solução de frutose .....	79
Gráfico 7	Superfície de resposta para o parâmetro C em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c).....	80
Gráfico 8	Superfície de resposta para o parâmetro $\Delta E$ em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c).....	81
Gráfico 9	Superfícies de resposta do teor de frutanos (b.s.) em solução de frutose .....	85



Gráfico 10 Superfície de resposta para a PP, em termos de T e CS (a), PV e CS (b) e PV e T (c) em solução de sorbitol .....	89
Gráfico 11 Superfície de resposta para a PA, em termos de T e CS (a), PV e CS (b) e PV e T (c) em solução de sorbitol .....	90
Gráfico 12 Superfície de resposta para o GS, em termos de T e CS (a), CS e PV (b) e T e PV (c) em solução de sorbitol .....	91
Gráfico 13 Superfície de resposta para a Aw da amostra DO em solução de sorbitol, em termos de T e CS (a), do CS e PV (b) e PV e T (c) .....	92
Gráfico 14 Superfícies de resposta do teor de frutanos (b.s.) em solução de sorbitol .....	98

#### **CAPÍTULO 4**

Gráfico 1 Respostas dos parâmetros de turbidez, condutividade elétrica, atividade de água (Aw), pH, densidade e viscosidade da solução osmótica no início e em cada reutilização da solução .....	116
Gráfico 2 Respostas dos parâmetros de sólidos solúveis, umidade e perda de peso das amostras no início e em cada reutilização da solução .....	118

#### **CAPÍTULO 5**

Gráfico 1 Cinética de secagem de yacon em estufa a vácuo a diferentes temperaturas e ajuste ao modelo de Fick .....	136
Gráfico 2 Cinética de secagem e ajuste ao modelo da Fick de yacon a 60 °C, em diferentes condições, em que IN corresponde ao tubérculo <i>in natura</i> e DO, ao desidratado osmoticamente, seco em estufa com vácuo (CV) ou sem vácuo (SV).....	138
Gráfico 3 Cinética de secagem a vácuo (75 mmHg, 40 °C) de yacon pré-tratado osmoticamente .....	141
Gráfico 4 Cinética de secagem a vácuo (75mmHg, 50 °C) de yacon pré-tratado osmoticamente .....	141
Gráfico 5 Cinética de secagem a vácuo (75 mmHg, 60 °C) de yacon pré-tratado osmoticamente .....	142
Gráfico 6 Cinética de secagem do yacon DO seco em estufa a 60 °C .....	144
Gráfico 7 Cinética de secagem do yacon <i>in natura</i> seco em estufa a vácuo a 60 °C .....	144
Gráfico 8 Cinética de secagem do yacon <i>in natura</i> seco em estufa a 60 °C...	145
Gráfico 9 Transição vítrea analisada por DSC em yacon DO e secos em estufas a vácuo, à temperatura de 40 °C (A), 50 °C (B) e 60 °C (C) e yacon DO e secos em estufa convectiva, a 60 °C (D), <i>in natura</i> , seco em estufa com vácuo (E) ou convectiva (F) a 60 °C..	149

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

Tabela 1	Delineamento experimental adotado para a otimização da desidratação osmótica de yacon.....	45
Tabela 2	Valor médio dos constituintes do tubérculo de yacon .....	50
Tabela 3	Análises físicas e químicas da polpa de yacon .....	51
Tabela 4	Coefficiente de difusividade de yacons desidratados em frutose e em sorbitol .....	56

### CAPÍTULO 3

Tabela 1	Delineamento experimental para os ensaios de desidratação osmótica de yacon.....	66
Tabela 2	Respostas do delineamento experimental para os ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de frutose.....	69
Tabela 3	Estimativa do p-valor (p) e coeficientes de regressão (CR) para PP, PA, GS e Aw (solução de frutose).....	70
Tabela 4	Análise de variância da regressão para as respostas PP, PA e GSe Aw, em solução de frutose.....	72
Tabela 5	Respostas dos parâmetros $L^*$ (luminosidade), c (croma) e $\Delta E$ (diferencial de cor) dos ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de frutose.....	76
Tabela 6	Estimativa do p-valor e coeficientes de regressão para os parâmetros de cor, $L^*$ , C e $\Delta E$ (solução de frutose).....	77
Tabela 7	Análise de variância da regressão para as respostas $L^*$ , C e $\Delta E$ , em solução de frutose .....	78
Tabela 8	Teor de frutanos (b.s.) de yacons DO em solução de frutose. ....	82
Tabela 9	Coefficientes de regressão para a resposta de teor de frutanos (b.s.) de yacons DO em solução de frutose.....	83
Tabela 10	ANOVA para teor de frutanos (solução de frutose) .....	84
Tabela 11	Respostas do delineamento experimental para os ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de sorbitol.....	86
Tabela 12	Estimativa do p-valor (p) e coeficientes de regressão (CR) para PP, PA, GS e Aw (solução de sorbitol) .....	87
Tabela 13	Análise de variância da regressão para as respostas PP, PA, GS e Aw em solução de sorbitol.....	88
Tabela 15	Faixas ótimas para as respostas PP, PA e GS (solução de sorbitol).....	93

Tabela 16	Respostas dos parâmetros $L^*$ (luminosidade), $c$ (croma) e $\Delta E$ (diferencial de cor) dos ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de sorbitol.....	93
Tabela 17	Estimativa dos coeficientes de regressão e p-valor para os parâmetros de cor, $L^*$ , $C$ e $\Delta E$ (solução de sorbitol).....	94
Tabela 18	Análise de variância da regressão para as respostas $L^*$ , $C$ e $\Delta E$ em solução de frutose .....	95
Tabela 19	Teor de frutanos (b.s.) de yacons DO em solução de sorbitol .....	96
Tabela 20	Coefficientes de regressão para a resposta de teor de frutanos (b.s.) de yacons PVOD em solução de sorbitol .....	97
Tabela 21	ANOVA para o teor de frutanos (solução de sorbitol) .....	97
Tabela 22	Faixas ótimas pré-estabelecidas para as respostas frutanos, GS, PA, PP e $A_w$ .....	100
Tabela 23	Valores preditos com seus intervalos de confiança (IC).....	100
Tabela 24	Respostas experimentais para a PA, PP, GS, $A_w$ e teor de frutanos .....	101

#### **CAPÍTULO 4**

Tabela 1	ANOVA para as respostas dos atributos da solução osmótica .....	113
Tabela 2	ANOVA para as respostas dos atributos do yacon desidratado.....	117

#### **CAPÍTULO 5**

Tabela 1	Delimitação experimental para os ensaios de secagem de yacon	131
Tabela 2	Coefficiente de difusividade para yacons DO secos em estufa a vácuo.....	136
Tabela 3	Coefficiente de difusividade para yacons secos em estufa a 60°C...	138
Tabela 4	Modelos matemáticos ajustados para o yacon DO seco em estufa a vácuo .....	140
Tabela 5	Modelos matemáticos ajustados para o yacon DO seco em estufa a vácuo .....	143
Tabela 6	Teor de frutanos de yacons DO e secos em estufa a vácuo .....	146
Tabela 7	Teor de frutanos de yacons secos a 60°C .....	146
Tabela 8	ANOVA para análise do teor de frutanos de yacons secos a 60 °C	147
Tabela 9	Temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e atividade yacon de yacons secos.....	148

## LISTA DE SÍMBOLOS

$B_0$	Grau brix no tempo 0
$B_t$	Grau brix no tempo t
$D_{\text{eff}}$	Difusividade efetiva
MR	Taxa de teor de água
$P_0$	Peso da amostra no tempo $t = 0$ (min);
$P_t$	Peso da amostra no tempo $t = t$ (min);
$S_0$	Peso de sólidos (matéria seca) da amostra no tempo $t = 0$ (min);
$S_t$	Peso de sólidos (matéria seca) da amostra no tempo $t = t$ (min)
$X_0$	Teor de umidade da amostra no tempo $t = 0$ (min);
$X_t$	Teor de umidade da amostra no tempo $t = t$ (min);

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1</b> Introdução geral.....	14
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Yacon</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Frutanos</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Desidratação osmótica</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Desidratação osmótica com pulso de vácuo</b> .....	22
<b>2.5</b>	<b>Reutilização da solução osmótica</b> .....	24
<b>2.6</b>	<b>Secagem</b> .....	25
<b>2.7</b>	<b>Secagem de yacon</b> .....	27
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29
	<b>CAPÍTULO 2</b> Caracterização e cinética da desidratação osmótica de yacon.....	38
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	39
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	41
<b>2.1</b>	<b>Matéria-prima</b> .....	41
<b>2.2</b>	<b>Preparo da matéria-prima</b> .....	41
<b>2.3</b>	<b>Caracterização da matéria-prima</b> .....	41
<b>2.4</b>	<b>Desidratação osmótica</b> .....	43
<b>2.5</b>	<b>Cinética de desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)</b> .....	44
<b>2.5.1</b>	<b>Modelo hidrodinâmico</b> .....	47
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
<b>3.1.1</b>	<b>Coefficiente de difusividade efetiva</b> .....	55
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	58
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59
	<b>CAPÍTULO 3</b> Otimização da desidratação osmótica de yacon em solução de frutose e de sorbitol.....	62
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	63
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	65
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	68
<b>3.1.1</b>	<b>Perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água de yacon desidratado osmoticamente em solução de frutose</b> ....	68
<b>3.1.2</b>	<b>Análises físico-químicas de yacon desidratado osmoticamente em solução de frutose</b> .....	76
<b>3.1.3</b>	<b>Análise do teor de frutanos de yacon desidratado osmoticamente em solução de frutose</b> .....	82
<b>3.1.4</b>	<b>Perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água de yacon desidratado osmoticamente em solução de sorbitol</b> ...	85

3.1.5	Análises físico-químicas de yacon desidratado osmoticamente em solução de sorbitol .....	93
3.1.6	Análise do teor de frutanos de yacon desidratado osmoticamente em solução de sorbitol .....	95
3.1.7	Otimização da desidratação osmótica de yacon em solução de sorbitol .....	99
4	CONCLUSÃO .....	102
	REFERÊNCIAS .....	103
	<b>CAPÍTULO 4 Reutilização da solução osmótica de sorbitol na desidratação de yacon .....</b>	<b>108</b>
1	INTRODUÇÃO .....	109
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	110
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	113
4	CONCLUSÃO .....	120
	REFERÊNCIAS .....	121
	<b>CAPÍTULO 5 Estudo da secagem a vácuo de yacons pré-tratados osmoticamente em solução de sorbitol.....</b>	<b>127</b>
1	INTRODUÇÃO .....	128
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	130
2.1.1	Secagem em uma única temperatura .....	131
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	135
3.1.1	Cinética de secagem e difusividade efetiva em secagem à 60°C.....	137
3.1.2	Modelos empíricos de cinética de secagem em secagem a 60°C.....	142
3.1.3	Teor de frutanos de yacons secos a 60°C .....	146
4	CONCLUSÃO .....	150
	REFERÊNCIAS .....	151

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO GERAL

#### 1 INTRODUÇÃO

Há uma grande busca, pelo consumidor, por produtos naturais e que, além de nutritivos, apresentem propriedades funcionais no organismo. Estes produtos devem ser, também, de fácil conservação, durabilidade e disponibilidade durante o ano todo. Por outro lado, é também desejável, pelas indústrias, um menor tempo de processamento e a máxima redução de custos.

Segundo a Federação Internacional de Diabetes (INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION, 2013), o Brasil é o quarto país em número de diabéticos (aproximadamente 13,4 milhões de casos em 2012). No estado de Minas Gerais, a estimativa da Secretaria de Estado de Saúde (SES) é de que 10% da população adulta (acima de 20 anos) sejam acometidos pelo diabetes (cerca de 1,345 milhões de pessoas) (MATA, 2010).

O yacon é um alimento que desperta grande interesse do meio científico devido às suas características funcionais, pois tem como principal carboidrato de reserva os fruto-oligossacarídeos (FOS), sendo considerado benéfico à saúde pelo seu efeito prebiótico e redutor do índice glicêmico da dieta. Este tubérculo possibilita, às pessoas com diabetes, um aporte calórico de carboidratos, sem colocar em risco o controle metabólico. No entanto, além de sazonal, o yacon tem elevada atividade de água, o que resulta em curta vida de prateleira.

Processos de secagem precedidos por desidratação osmótica com pulso de vácuo são adequados para a manutenção das características sensoriais, nutricionais e da vida útil do produto.

A desidratação osmótica (DO) consiste na imersão do alimento em uma solução hipertônica de solutos, com elevada pressão osmótica, promovendo, assim, uma força motriz para difusão por osmose da água pela membrana celular (RASTOGI; RAGHAVARAO; NIRANJAN, 2005). É bastante utilizada como pré-tratamento para a secagem, pois auxilia na preservação das características físicas, químicas e nutricionais do produto seco, além de aumentar a taxa de secagem (CORRÊA et al., 2011; FANTE et al., 2011; LI et al., 2012). A taxa de transferência de massa da DO pode ser aumentada com a aplicação de pulso de vácuo no início do processo (DENG; ZHAO, 2008; MORENO et al., 2011).

A secagem a vácuo, quando comparada à secagem convencional, conduzida em condições atmosféricas, apresenta algumas vantagens, como maiores taxas de secagem, uso de temperaturas mais brandas e diminuição do teor de oxigênio no agente de secagem. Tais vantagens auxiliam na preservação das características iniciais, físicas, químicas e nutricionais no produto seco (WU et al., 2007; MURAMATSU et al., 2012)

Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de obter a otimização da secagem a vácuo de yacon precedida por PVOD, buscando um produto comercialmente mais estável e com a máxima manutenção das suas características nutricionais.

Em específico, objetivou-se: caracterizar a composição centesimal e física do produto *in natura*; obter cinéticas, da PVOD, de perda de peso e de água e ganho de sólidos, realizando ajuste ao modelo hidrodinâmico; proceder à análise da influência das variáveis independentes, quantidade de vácuo, temperatura e tipo do agente, e a concentração da solução osmótica nos parâmetros físicos, químicos e nutricionais de yacon em PVOD; estudar o reuso da solução osmótica em desidratações posteriores e realizar o estudo da secagem a vácuo em diferentes temperaturas do yacon desidratado osmoticamente, com ajuste da cinética de secagem e de modelos matemáticos.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um fator muito importante, quando se deseja otimizar a secagem de um produto alimentício, é o conhecimento de suas características e disponibilidade e, também, dos fatores envolvidos no processo de secagem. Para este fim, a revisão de literatura se torna necessária.

### 2.1 Yacon

O yacon, cujo nome científico é *Smallanthus sonchifolius*, pertence à família *Asteraceas* (também conhecida por *Compositae*), sendo ainda conhecida por alguns nomes regionais, como arboloco, aricoma, jícama/chícama, yíquima, jiquimilla e llacon/llagon/llag'on (ZARDINI, 1991). É uma planta do tipo perene. Suas raízes tuberosas variam muito em forma e tamanho; geralmente, têm de 15 a 20 cm de comprimento e 10 cm de espessura, e uma única planta pode gerar mais de 10 kg de raiz (SANTANA; CARDOSO, 2008; OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011).

É oriundo da região Andina, cresce em altitudes de 1.000 a 3.500 m e é cultivada da Colômbia, ao noroeste da Argentina (GRAU; REA, 1997). Atualmente, o yacon já é cultivado em diversos países, como Paraguai, Estados Unidos, Eslováquia, China, Coreia e Taiwan (LACHMAN et al., 2004). No Brasil, o seu cultivo data de 1991 (ZARDINI, 1991), sendo comercializada tanto a raiz fresca como a desidratada (chips) e as folhas secas para o preparo de chá (VENTURA, 2004), e a safra vai de março a setembro (ARAJARA, 1999).

O consumo de yacon é feito, usualmente, *in natura*. Seu sabor e textura são comparados a uma mistura de maçã com melão (OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011). Têm sabor agradável, gosto doce e polpa crocante, devido à decomposição enzimática dos carboidratos em frutose e glicose, após 3 a 5 dias

de exposição ao sol, sendo as raízes tuberosas recém-colhidas insípidas (SILVA et al., 2004).

Esta raiz se diferencia dos demais tubérculos por possuir fruto-oligosacarídeos (FOS) como principal carboidrato de reserva, em vez do amido (GOTO, 1995; OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011). Quimicamente, segundo Hermann, Freire e Pazos (1997), tem apenas 11,5% de matéria seca, sendo, em média, 92% de carboidratos, dos quais cerca de 58% são frutanos, com grau de polimerização médio de 3,9. Constitui, ainda, uma boa fonte dos minerais fósforo e cálcio e baixo conteúdo de lipídeos (0,02%) e proteínas (0,37%) na raiz *in natura*. Silva et al. (2004) relatam valores médios de 106,63, 9,94 e 25,81 mg/100g de cálcio, ferro e sódio, respectivamente, na raiz desidratada de yacon com 3,5% de cinzas.

Conforme Hermann, Freire e Pazos (1997), a composição centesimal do yacon varia de acordo com a espécie. No entanto, independente deste fato, ele apresenta quantidades apreciáveis de frutanos. Diante disso, o yacon pode ser considerado um alimento funcional, por conter elevado teor de frutanos como carboidrato de reserva.

Nutricionalmente, no Brasil, atribui-se o principal benefício do yacon à redução da glicemia e ao auxílio na redução da obesidade. Mulheres obesas, que ingeriam diariamente xarope de yacon, durante 120 dias, apresentaram redução significativa de peso, da circunferência abdominal e do índice de massa corpórea, atribuída a um aumento da frequência de defecação e da sensação de saciedade (GENTA et al., 2009). Os frutanos presentes nesse tubérculo não são digeridos pelo trato gastrointestinal superior, estimulando o crescimento de bifidobactérias intestinais, evitando o aumento do nível de glicose no sangue e ou estimulando a secreção de insulina (CONTADO, 2009).

Santana e Cardoso (2008) relatam o uso do yacon para fins medicinais, como antirraquitismo, em certas regiões do Peru; para afecções renais e

hepáticas, na medicina folclórica andina; como rejuvenecedor da pele, pelos camponeses andinos e no tratamento de pessoas com diabetes e com problemas digestivos, na Bolívia.

Para o uso do tubérculo de yacon como um alimento funcional ou suplemento alimentar por pessoas que sofrem de doenças metabólicas com o metabolismo da glicose (síndrome metabólica, diabetes, etc.), um baixo teor de glicose e um elevado teor de  $\beta$ -(2-1) fruto-oligossacarídeos são favoráveis (VALENTOVÁ et al., 2006).

O que também torna o yacon atrativo para indivíduos diabéticos é o fato de possuir um poder adoçante, com valores calóricos relativamente baixos (OJANSIVU; FERREIRA; SALMINEN, 2011). Além disso, a capacidade de retenção de água e a não digestibilidade dos polissacarídeos, associadas com a fibra, afetam diretamente o volume e massa do bolo fecal (SCHNEEMAN, 1999).

No entanto, Graefe et al. (2004) observaram que o armazenamento de yacons, por 6 dias, ao sol, acarretou um decréscimo da concentração de FOS de 50%-62% para 29%-44%, em base seca (b.s) e que o seu armazenamento em ambiente seco e escuro, por 12 dias, causou um decréscimo na concentração de FOS, chegando a uma concentração de 27%-39% (b.s.). Conseqüentemente, para o melhor aproveitamento do FOS contido no yacon, o consumo ou o processamento devem ser feitos próximo à sua colheita. Além de ser um produto perecível, a elevada atividade de água do yacon o torna perecível, de vida útil reduzida após a colheita (XISTO et al., 2004). Estes fatores dificultam o transporte e o armazenamento e sugerem a implantação de processos que visem à diminuição da água livre presente no tubérculo e preservem ao máximo sua propriedade funcional.

## 2.2 Frutanos

Frutanos são compostos constituídos por moléculas de sacarose, às quais se adicionam uma, duas ou três unidades de frutose por ligações glicosídicas, na unidade de frutose da sacarose, reduzindo ao mínimo o teor de glicose (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996). As moléculas de frutose são unidas por ligações  $\beta(2\rightarrow1)$  e a última molécula de frutose é ligada com a glicose pela ligação  $\alpha(1\rightarrow2)$ , similar à sacarose. O grau de polimerização (DP) desses carboidratos, geralmente, vai de 2 a 60 e eles recebem o nome de inulina; os grupos com DP na faixa de 2 a 10 são chamados de oligofrutose ou fruto-oligossacarídeos (FOS) (SILVA et al., 2004).

A inulina pode ser classificada como uma fibra dietética solúvel, por atingir o intestino grosso intacta, sendo aí fermentada por bactérias (DAVIDSON; MAKI, 1999).

É uma substância de sabor neutro e suave, com textura e sensação bucal semelhantes às da gordura. Comercialmente, a inulina é utilizada na preparação de diversos alimentos em substituição à gordura e ao açúcar, tais como chocolate, produtos lácteos, sobremesas congelados e assados (DAVIDSON; MAKI, 1999). Diversos estudos vêm desenvolvendo novos produtos no intuito de promover seu enriquecimento alimentar, como o de Ventura (2004) (desenvolvimento de doce em massa de goiaba e yacon, desidratados osmoticamente, e acerola).

O yacon, diferentemente das espécies tuberosas que estocam energia na forma de amido, tem como principal carboidrato de reserva os FOS.

Os fruto-oligossacarídeos pertencem à classe de açúcares constituídos de uma a três unidades de frutose ligadas a uma molécula de sacarose na posição  $\beta(2-1)$ . Os principais componentes são kestose, nistose e 1-frutossilnístose (VENTURA, 2004).

Os principais benefícios que a literatura reporta para os FOS na saúde humana são baixa cariogenicidade, efeito prebiótico, valor energético reduzido, contribuem na eliminação de bactérias patogênicas e putrefativas por efeito da multiplicação das bifidobactérias, aumentam a absorção de minerais como cálcio, magnésio e ferro, inibem os estágios iniciais de câncer de colón e regularizam a função de defecação (GIBSON; ROBERFROID, 1995).

Os FOS são de extrema importância para a saúde, atuando desde a redução do colesterol sérico (DAVIDSON; MAKI, 1999) até o auxílio na prevenção de alguns tipos de câncer, uma vez que são considerados alimentos prebióticos, pois promovem a seletividade do crescimento de probióticos, como *Acidophillus* e *Bifidus* (PASSOS; PARK, 2003).

Além disso, os FOS podem ser consumidos por diabéticos. Existem relatos de que, após a sua ingestão, não ocorrem alterações nos níveis plasmáticos de glicose e de frutose, e não há modificação na glicemia ou na insulina (MABEL et al., 2008).

### **2.3 Desidratação osmótica**

A desidratação osmótica (DO) é uma das técnicas mais aceitáveis para a remoção parcial de água, por ser uma técnica de desidratação mais branda e permitir o uso de temperaturas mais baixas que na secagem. Consiste na imersão do alimento em uma solução hipertônica, com elevada pressão osmótica, promovendo, assim, uma força motriz para a difusão por osmose da água pela membrana celular (RASTOGI; RAGHAVARAO; NIRANJAN, 2005).

Conforme Azuara-Nieto, Gutiérrez-López e Beristain-Guevera (2003), de uma forma simplificada, pode-se considerar que o tecido celular é formado por células que atuam como fontes de água e estas são separadas por uma membrana celular, sendo o espaço ocupado por elas chamado de volume

intracelular e o espaço livre, chamado de volume extracelular. Quando o tecido celular é posto em contato com a solução osmótica, os sólidos entram no volume extracelular e um gradiente de potencial químico induz a penetração de sólidos e a remoção da água através das membranas celulares, e a água deixa o volume intracelular, atingindo a solução osmótica antes de passar este volume extracelular. Durante a desidratação osmótica, o volume de água que flui para fora do sistema é muito maior do que o volume de entrada de sólidos.

A DO apresenta vantagens, como a obtenção de produtos com características sensoriais similares às do produto *in natura* e com elevado valor nutritivo (QUILES et al., 2004), redução no tempo de tratamentos complementares em altas temperaturas (RASTOGI; RAGHAVARAO; NIRANJAN, 2005), além de conferir pequenas alterações quanto à cor e aumento na retenção dos compostos voláteis (OSORIO et al., 2007). Porém, este processo não pode ser considerado como uma única operação para a conservação de alimentos, pois a redução da atividade de água é pequena e apresenta taxa de transferência consideravelmente lenta. Dessa forma, costuma ser utilizada como um pré-tratamento para outros processos, como secagem a vácuo, secagem, congelamento ou liofilização (CORRÊA et al., 2011; JANGAM et al., 2011; GOULA; LAZARIDES, 2012). A aceleração da taxa de transferência pode ser promovida pela aplicação de pulso de vácuo (SHI; FITO; CHIRALT, 1995; MORENO et al., 2000).

Na maioria dos processos de DO, são utilizadas soluções de sacarose ou de NaCl (CHIRALT; FITO, 2003). Porém, outros tipos de agentes podem ser utilizados (RIZZOLO et al., 2007; TOGRUL; ISPIR, 2008) e soluções de sorbitol e frutose são favoráveis para a obtenção de alimentos para pacientes com restrições à sacarose e / ou ao NaCl, como diabéticos e hipertensos.

O tipo de soluto utilizado na solução osmótica pode interferir significativamente nas características físico-químicas, além de cor, textura, estrutura e propriedades sensoriais do produto final (CHAUHAN et al., 2011).

Os polióis são muito utilizados na indústria alimentícia por apresentarem vantagens, como sinergismo com outros edulcorantes, quantidade mínima de calorias por grama, não promover a cárie dentária e não aumentar os níveis de glicose no sangue ou insulina, além de manter a textura e o sabor dos carboidratos (FERREIRA; ROCHA, 2009). Dentre os alditóis, o mais popular é o sorbitol.

O sorbitol é um eficiente agente desidratante, pois proporciona alta relação entre retirada de água por ganho de sólidos (VENTURA; GARCIA; WADA, 2003), além de ser considerado um agente protetor da cor e do teor de ácido ascórbico de frutos desidratados osmoticamente (RIVA et al., 2005). Rizzolo et al. (2007) citam como vantagem do uso do sorbitol como solução desidratante o fato de ele não apresentar aumento na produção de acetato de etila como encontrado em amostras tratadas com sacarose, o que provoca um processo fermentativo no fruto. Isto se deve ao tamanho da molécula de sorbitol, que é menor que a da sacarose e também por ela ser menos efetiva na formação de barreiras de soluto.

A frutose, por possuir moléculas menores, comparada à sacarose, penetra mais nos tecidos do produto e forma uma camada menos concentrada de açúcar na periferia do produto, com menor chance de cristalização, permitindo, assim, maior retirada de umidade do material (RUIZ-LÓPEZ et al., 2011).

#### **2.4 Desidratação osmótica com pulso de vácuo**

A aplicação de pulso de vácuo, por um curto período, no início do processo de DO, promove a expansão dos poros do tecido vegetal, com

consequente escape dos gases presentes nestes poros. Quando a pressão é restaurada, os poros estão livres, o que facilita a liberação de água e a difusão de solutos (FITO et al., 1994). Este processo promove a penetração osmótica do meio para os poros do tecido vegetal por mecanismo hidrodinâmico (HDM). Este mecanismo é controlado pela presença de gás interno ou líquidos oclusos nos poros abertos de um produto poroso, o qual é expandido e comprimido com as mudanças de pressão, permitindo que os poros passem a atuar como pontos de entrada e saída de líquidos (FITO et al., 1994; DENG; ZHAO, 2008).

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) apresenta vantagens adicionais em relação à DO em pressão atmosférica, como a aceleração da transferência de massa, o aumento da área interfacial sólido/líquido, promover perfis de concentração mais homogêneos no produto e melhorar a qualidade deste, além de reduzir o gasto energético (LOMBARD et al., 2008; FANTE et al., 2011).

Esta operação permite enriquecer os produtos com nutrientes, vitaminas, minerais e incorporar aditivos, além de aumentar o rendimento do processo em relação à DO em pressão atmosférica, pois gera menor perda de massa (CASTELLÓ; FITO; CHIRALT, 2010).

Torres et al. (2006) relataram a eficiência da desidratação osmótica com adição de cálcio, em conjunto com a aplicação de vácuo para melhor manutenção estrutural de mangas. Castelló, Fito e Chiralt (2010), ao estudarem a desidratação osmótica de morangos, com ou sem a aplicação de pulso de vácuo, observaram que a aplicação de vácuo na DO causou uma diminuição na taxa de respiração do fruto, com maior redução no consumo de O<sub>2</sub> e que, após o armazenamento, ficaram evidentes os efeitos benéficos da aplicação de vácuo com relação à manutenção da textura. Lombard et al. (2008), ao desidratarem abacaxi, comprovaram a facilidade da perda de água e o aumento do rendimento



do processo, com menor perda de massa, ao aplicarem pulso de vácuo no início do processo de desidratação.

## **2.5 Reutilização da solução osmótica**

A DO é, normalmente, realizada com grandes quantidades de solução com relação à massa de alimentos. Isto encarece o processo, apesar de suas vantagens. Alternativas, como a reutilização ou a reciclagem em ciclos sucessivos de desidratação, ou como ingrediente na formulação de novos produtos (compotas, xarope para conservas de frutas, produção de substâncias aromáticas), devem ser consideradas com a finalidade de tornar o processo economicamente viável e não ter a solução como um resíduo industrial (MORAGA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2011).

Para melhor controle da desidratação, deve-se buscar o reuso da solução sem perda de nutrientes do produto para a solução e sem incorrer em contaminação microbológica (VALDEZ-FRAGOSO; WELTI-CHANES; GIROUX, 1988; GARCÍA-MARTINEZ et al., 2002; VALDEZ-FRAGOSO; MUJICA-PAZ, 2002, MORAGA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2011).

O estudo das modificações causadas na solução com o seu reuso, como atividade de água, cor, turbidez, condutividade elétrica e °Brix, entre outros, é de extrema importância, podendo definir um fator limitante sobre os ciclos de reuso. O poder desidratante da solução deve ser mantido. Garcia-Martinez et al. (2002) reutilizaram a solução por 10 vezes, para DO de kiwi e Moraga, Moraga e Martínez-Navarrete (2011) relataram a possibilidade do reuso da solução osmótica, sem nenhum tratamento de reconstituição desta, em até cinco vezes, sem que tenha ocorrido nenhuma alteração do poder desidratante destas.

## 2.6 Secagem

A secagem é, provavelmente, uma das mais antigas e mais comumente utilizadas técnicas de preservação de alimentos. Segundo Gava, Silva e Frias(2008), secagem é um processo combinado de transferência de massa e calor na qual uma boa parte da água é eliminada, reduzindo, conseqüentemente, a sua atividade de água, que está diretamente ligada ao crescimento microbiano, a reações enzimáticas e a outras reações de origem química e física. Em adição, a preservação e a redução do peso e da umidade do produto desidratado diminuem os custos com embalagem, manuseio e transporte (ARAYA-FARIAS; RATTI, 2009).

Conforme Strumillo e Kudra (1986), o processo de secagem baseado na transferência de calor e de massa pode ser dividido em três etapas que são:

- a) período de pré-aquecimento: ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Este aumento continua até que o material atinja a temperatura de bulbo úmido do material;
- b) período de taxa constante: a taxa de secagem é constante e a água evaporada está livre. O transporte de massa é controlado pela taxa de transferência de calor e, enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para que ocorra evaporação, a taxa de secagem será constante. A temperatura do produto se mantém na temperatura de bulbo úmido do ar;
- c) período de taxa decrescente: a umidade neste ponto é chamada de “ponto crítico do processo”. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, por tanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada

pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, podendo atingir a temperatura do ar de secagem. A secagem se encerra espontaneamente quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem.

A secagem é uma alternativa eficiente para a conservação, bem como para a disponibilidade de alimentos em períodos de entressafra. Porém, este processo é, usualmente, acompanhado de degradações físicas, químicas e nutricionais com relação ao produto fresco (MUJUMDAR; LAW, 2010). Para a minimização destas perdas, devem-se buscar novas alternativas, como o uso de técnicas brandas de secagem, como a secagem a vácuo e/ou o uso de pré-tratamentos que aumentem a taxa de secagem e mantenham a qualidade do alimento, como a desidratação osmótica. A estrutura química dos nutrientes, particularmente de algumas vitaminas, é degradada quando ocorre um aumento da temperatura de processamento (TORRES, 2009).

A secagem convencional, ou secagem convectiva, tem diversas limitações, tais como qualidade do produto não uniforme, devido ao ressecamento causado por longa, inadequada, ou não uniforme exposição do produto no meio de secagem; longo tempo de secagem, devido à baixa eficiência de contato entre o meio de secagem e o sólido a ser seco; textura rígida, devido à formação de uma crosta na superfície do produto pelo ressecamento, etc. (JANGAM, 2011).

A secagem a vácuo permite a desidratação do produto em baixas temperaturas, além da diminuição do teor de oxigênio ambiente, ocasionando, significativamente, menos danos ao produto final, mostrando-se eficiente, por exemplo, na redução de degradações de nutrientes causadas por altas

temperaturas, manutenção da cor e forma original e gera uma estrutura altamente porosa, facilitando a sua reidratação. Além disso, diminui o tempo de secagem e requer menos energia que a secagem convectiva (WU et al. 2007; CARRÍN; CRAPISTE, 2009; MUJUMDAR; LAW, 2010; SAGAR; KUMAR, 2010; MURAMATSU et al., 2012). Barbieri, Elustondo e Urbicain (2004) relataram a maior retenção de compostos voláteis ao secar folhas aromáticas a vácuo.

## **2.7 Secagem de yacon**

Há uma escassez de trabalhos sobre a otimização de processos de secagem que levem em conta, principalmente, a maior conservação nutricional do yacon. Graefe et al. (2004) relataram o decréscimo da concentração de FOS de 50%-62% para 29%-44% (b.s.), após o yacon ficar exposto por 6 dias ao sol, enquanto o seu armazenamento em ambiente seco e escuro por 12 dias levou a uma concentração final de FOS de 27%-39% (b.s.).

Scher, Rios e Noreña (2009) realizaram a secagem de yacon em estufa com ar forçado a 50 °C, 60 °C e 70 °C e obtiveram decréscimo significativo da concentração de inulina, tendo, na temperatura de 70 °C, ocorrido maior perda de água por tempo e, ao mesmo tempo, maior conversão de FOS em açúcar redutor.

Kotovicz et al. (2013) otimizaram a desidratação osmótica de yacon em solução de frutose, chegando a 68 °Brix, 30 °C e 60 minutos de desidratação com adição de alginato de sódio. No entanto, para a otimização, levaram em consideração apenas maiores perdas de água e menores ganhos de sólidos e teor de atividade de água.

Reis et al. (2012) estudaram a interferência de espessura, concentração de ácido cítrico e temperatura de secagem na cinética de secagem de yacons secos em estufa a vácuo, analisando a taxa de encolhimento e reidratação,

concluindo que, entre os fatores estudados, a temperatura afetou negativamente a espessura e o encolhimento, afetando a taxa de reidratação.

Maldonado et al. (2008) analisaram a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de yacon em solução de 40% de sacarose a 25 °C e relataram perda de água e ganho de sólidos de 68,8% e 9,5%, respectivamente.

Perussello et al. (2013), ao estudarem a desidratação osmo-convectiva de raízes de yacon, relataram que a aplicação de DO antes da secagem convectiva promoveu ganho na qualidade do produto seco, como menores taxas de escurecimento e encolhimento e redução dos danos estruturais, em comparação com as amostras secas diretamente em estufa.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de explorar diferentes métodos e combinação de métodos de secagem, a fim de otimizar as variáveis do processo que possibilitam uma melhor qualidade do yacon desidratado, mantendo, principalmente, o seu valor nutricional.

## REFERÊNCIAS

ANGELINI, R. **Desidratação osmótica de kiwi (*Actinidia deliciosa* L.)**: estudo da reutilização da solução osmótica. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

ARAJARA, F. Yacon, o primo da batata que ajuda a controlar o diabete. **Revista Saúde**, São Paulo, n. 194, p. 38-42, 1999.

ARAYA-FARIAS, M.; RATTI, C. Dehydration of foods: general concepts. In: RATTI, C. **Advances in food dehydration**. New York: CRC Press, 2009. p. 311-389.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists International**. 16. ed. Whashington: AOAC, 1995.

AZUARA-NIETO, E.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; BERISTAIN-GUEVERA, C. I. Mass transfer description of the osmodehydration of apple slabs. In: WELTI-CHANES, J.; VÉLEZ-RUIZ, J.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. **Transport phenomena in food processing**. Florida: CRC Press LLC, 2003. Cap. 2, p. 105-117.

BARBIERI, S.; ELUSTONDO, M.; URBICAIN, M. Retention of aroma compounds in basil dried with low pressure superheated steam. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 1, p. 109-115, Nov. 2004.

CAMPOS, D. et al. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp.& Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, London, v. 135, n. 3, p. 1592-1599, Dec. 2012.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais**: dietéticos. São Paulo: Varela, 1996.

CARRÍN, M. E.; CRAPISTE, H. Convective drying of foods. In: RATTI, C. **Advances in food dehydration**. New York: CRC Press, 2009. p. 123-151.

CASTELLÓ, M. L.; FITO, P. J.; CHIRALT, A. Changes in respiration rate and physical properties of strawberries due to osmotic dehydration and storage. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 97, n. 1, p. 64-71, Mar. 2010.

CHAUHAN, O. P. et al. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. **International Journal of Food Properties**, New York, v. 14, n. 5, p. 1037-1048, 2011.

CHIRALT, A.; FITO, P. Transport mechanisms in osmotic dehydration. The role of the structure. **Food Science and Technology International**, London, v. 9, p. 179-186, June 2003.

CONTADO, E. W. N. da F. **Obtenção, caracterização e utilização dos frutanos de tubérculos do yacon (*Smallanthus sonchifolia*)**. 2009. 144 p. Tese (Doutorado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 13, p. 1556-1561, 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498-504, Feb. 2010.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

DAVIDSON, M. H.; MAKI, K. C. Effects of dietary inulin on serum lipids. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 129, n. 7, p. 1474S-1477S, July 1999.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 1, p. 84-93, Mar. 2008.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus sp.*, cv. Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R. da. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 623-638, 2009.

FITO, P. et al. Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods. In: SINGH, P.; OLIVEIRA, F. (Ed.). **Process optimization and minimal processing of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 107-121.

GARCÍA-MARTINEZ, E. et al. Characterisation of reuse osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research International**, Barking, v. 35, n. 2-3, p. 307-313, 2002.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia dos alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GENTA, S. et al. Yacon syrup: beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, Saint Louis, v. 28, n. 2, p. 182-187, Apr. 2009.

GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 125, n. 6, p. 1401-1412, June 1995.

GOTO, K. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience, Biotechnology and Biochemical**, Tokio, v. 59, n. 12, p. 2346-2347, 1995.



GOULA, A. M.; LAZARIDES, H. N. Modeling of mass and heat transfer during combined processes of osmotic dehydration and freezing (Osmo-Dehydro-Freezing). **Chemical Engineering Science**, New York, v. 82, n. 12, p. 52-61, Sept. 2012.

GRAEFE, S. et al. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2-3, p. 157-165, Mar. 2004.

GRAU, A.; REA, J. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson]. Andean roots and tuberous roots: aphia, arracancha, maca and yacon. In: HERMAN, M.; HELLER, J. (Ed.). **Promoting the conservation and use of underutilized crops**. Rome: Gatersleben, 1997. v. 174, p. 199-256.

HERMANN, M.; FREIRE, I.; PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. **CIP Program Report**, Peru, v. 98, p. 425-432, 1997.

INTERNATIONAL DIABETES FEDERATION. **IDF diabetes atlas**. 5 ed. [S.l.]: IDF. 2012. Disponível em: <[http://www.idf.org/sites/default/files/5E\\_IDFA\\_tlasPoster\\_2012\\_EN.pdf](http://www.idf.org/sites/default/files/5E_IDFA_tlasPoster_2012_EN.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2013.

ITO, A. P. et al. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. S54-S63, ago. 2007.

JANGAM, S. V. et al. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 12, p. 1343-1357, 2011.

KOTOVICZ, V. et al. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia Sonchifolia*) in fructose solution. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westpot, v. 38, n. 1, p. 58-74, Jan. 2013.

LACHMAN, J. et al. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl) H. Robinson] tuber and rhizomes and factors affecting their content. **Plant Soil and Environment**, London, v. 50, n. 9, p. 383-390, 2004.

LI, H. et al. Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 47, n. 5, p. 954-960, Oct. 2012.

LOMBARD, G. E. et al. A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 2, p. 277-284, Mar. 2008.

MABEL, M. J. et al. Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 343, n. 1, p. 56-66, Jan. 2008.

MALDONADO, S. et al. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 251-256, jan./mar. 2008.

MATA, J. 'Status' de epidemia ronda diabetes, e afeta 110 mil em BH. **Jornal Hoje em Dia**, Belo Horizonte, nov. 2010. Disponível em: <[www.hojeemdia.com.br](http://www.hojeemdia.com.br)>. Acesso em: 15 mar. 2010.

MORAGA, M. J.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effects of the re-use of the osmotic solution on the stability of osmodehydro-refrigerated grapefruit. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 44, n. 1, p. 35-41, Jan. 2011.

MORENO, J. et al. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, Barking, v. 33, n. 7, p. 609-616, Aug. 2000.

MORENO, J. et al. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 4, p. 621-627, June 2011.

MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L. Drying technology: trends and applications in postharvest processing. **Food and Bioprocess Technology**, Amsterdam, v. 3, n. 6, p. 843-852, Dec. 2010.

MURAMATSU, Y. et al. Hot air drying and vacuum drying characteristics of scarlet runner beans. **International Journal of Food Engineering**, New York, v. 8, n. 3, p. 239-339, July 2012.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 22, n. 1, p. 40-46, Jan. 2011.

OSORIO, C. et al. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 353-359, Sept. 2007.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligosacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003.

PERUSSELLO, C. A. et al. Assessment of the osmo-convective dehydration on the quality attributes and centesimal composition of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 25-38, 2013.

QUILES, A. et al. The effect of calcium and cellular permeabilization on the structure of the parenchyma of osmotic dehydrated 'Granny Smith' apple. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 13, p. 1765-1770, Oct. 2004.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Developments in osmotic dehydration. In: SUN, D. W. (Ed.). **Emerging technologies for food processing**. London: Academic Press, 2005. p. 221-250.

REIS, F. R. et al. Vacuum drying kinetics of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and the effect of process conditions on fractal dimension and rehydration capacity. **Drying Technology**, New York, v. 30, n. 1, p. 13-19, 2012.

RIVA, M. et al. Structure-property relationship in osmo-air-dehydrated apricot cubes. **Food Research International**, Barking, v. 38, n. 5, p. 533-542, June 2005.

RIZZOLO, A. et al. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): influence of osmotic solution composition and processing time. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 40, n. 3, p. 529-535, Apr. 2007.

RUIZ-LÓPEZ, I. I. et al. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 2, p. 218-226, May 2011.

SAGAR, V. R.; KUMAR, P. S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 47, n. 1, p. 15-26, Jan. 2010.

SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 898-905, maio/jun. 2008.

SCHER, C. F.; RIOS, A. de O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **Internacional Journal of Food Science & Technology**, Mysore, v. 44, n. 11, p. 2169-2175, Nov. 2009.

SCHNEEMAN, B. O. Fiber, inulin and oligofructose: similarities and differences. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 29, n. 7, p. S1424-S1427, July 1999.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, Barking, v. 28, n. 5, p. 445-454, 1995.

SILVA, E. B. et al. Composição química da raiz e das folhas desidratadas do yacon (*Polymnia sanchifolia* Poepp.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, n. 3, p. 48-52, 2004.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2007.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying principles, applications and design**. New York: Gordon and Breach Science, 1986.

TOGRUL, I. T.; ISPIR, A. Equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of apricot. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 86, n. 4, p. 254-267, Dec. 2008.

TORRES, D. P. M. Produção de refeições e alterações nutricionais nos alimentos. **Revista da SPCNA**, Porto, v. 15, n. 3, p. 66-70, 2009.

TORRES, J. D. et al. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 74, n. 2, p. 240-246, May 2006.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; MUJICA-PAZ, H. Reuse of sucrose syrup in pilot-scale osmotic dehydration of apple cubes. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 25, n. 2, p. 125-139, Dec. 2002.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI-CHANES, J.; GIROUX, F. Properties of a sucrose solution reused in osmotic dehydration of apples. **Drying Technology**, New York, v. 16, n. 7, p. 1429-1445, 1988.

VALENTOVÁ, K. et al. The biological and chemical variability of yacon. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 4, p. 1347-1352, Jan. 2006.

VENTURA, F. C. **Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e yacon desidratados osmoticamente e acerola**. 2004. 194 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

VENTURA, F. C.; GARCIA, N. H. P.; WADA, J. K. A. Desidratação osmótica de yacon utilizando sorbitol como agente desidratante. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 2., 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SIMPOCAL, 2003.

WU, L. et al. Vacuum drying characteristics of eggplants. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 83, n. 3, p. 422-429, Dec. 2007.

XISTO, A. L. R. P. et al. Textura de goiaba 'Pedro Sato' submetidas à aplicação de cloreto de cálcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 113-118, jan./fev. 2004.

ZARDINI, E. Ethnobotanical notes of yacon, *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economic Botany**, Bronx, v. 45, n. 1, p. 72-85, 1991.

## CAPÍTULO 2

### Caracterização e cinética da desidratação osmótica de yacon

#### RESUMO

O yacon se diferencia dos demais tubérculos por possuir fruto-oligossacarídeos como principal carboidrato de reserva, o que lhe confere potencial prebiótico. Condições ótimas de desidratação podem ser utilizadas em processos comerciais de fabricação de yacon desidratado, sem grandes perdas nutricionais, conservando as suas características como prebiótico. Este trabalho foi realizado com o objetivo de realizar a caracterização do tubérculo de yacon e a obtenção de cinéticas de perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) de yacons desidratados osmoticamente (DO) em duas soluções diferentes: solução de sorbitol e solução de frutose, ambas a 30 °Brix. A DO foi realizada a 28°C com aplicação, nos 10 primeiros minutos de DO, de 80 mmHg de pulso de vácuo, em uma razão solução:tubérculo de 25:1 (peso:peso). Amostras de yacon foram retiradas em tempos pré-determinados (15; 30; 60; 120; 180; 240; 300; 360; 390; 420; 450; 480 e 510 minutos) até a obtenção da condição de equilíbrio, realizando a pesagem e a determinação do teor de água das amostras em cada tempo, para cálculo da PP, PA e GS. Tanto para a frutose quanto para o sorbitol, obteve-se equilíbrio para a PA e PP após 300 minutos de DO. As amostras desidratadas em solução de sorbitol apresentaram maior GS e PA, quando comparadas às desidratadas em solução de frutose, apresentando PP similar. O modelo hidrodinâmico apresentou um bom ajuste para ambas as soluções, levando a valores próximos de difusividade e evidenciando a eficiência de ambas como agente desidratante.

Palavras-chave: Perda de peso. Perda de água. Ganho de sólidos. Modelo hidrodinâmico.

## 1 INTRODUÇÃO

A desidratação osmótica (DO) é uma das técnicas mais aceitáveis para a remoção parcial de água. Consiste na imersão do alimento em uma solução hipertônica de solutos (açúcares ou sais), com elevada pressão osmótica, promovendo, assim, uma força motriz para a difusão por osmose da água pela membrana celular (RASTOGI; RAGHAVARAO; NIRANJAN, 2005).

A DO à pressão atmosférica conduz à redução do teor de umidade e da atividade de água. As taxas de transferência de massa em DO podem ser aumentadas com a aplicação de pulso de vácuo no início do processo (DENG; ZHAO, 2008; MORENO et al., 2011). Esta aplicação promove a expansão dos poros do tecido vegetal e, conseqüentemente, o escape dos gases presentes nestes e, quando a pressão é restaurada, os poros estão livres, facilitando a liberação de água e a difusão de solutos (FITO et al., 1994; FERRARI et al. 2011). Processos de secagem precedidos por desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) são adequados para a manutenção das características sensoriais e nutricionais do produto (FANTE et al., 2011).

No começo do processo de PVOD, há uma expressiva perda de água e ganho de sólidos pela atuação do mecanismo hidrodinâmico, devido ao gradiente de pressão, resultante da ação combinada do fluxo capilar e as alterações de pressão impostas sobre as estruturas porosas do tecido vegetal (FITO et al., 1994; CORRÊA et al., 2010). O modelo hidrodinâmico de Fito apresenta-se mais adequado para prever a transferência de massa que um modelo puramente difusivo, pois leva em consideração o mecanismo hidrodinâmico (HDM) que ocorre no princípio de desidratações com aplicação de pulso de vácuo (FITO; CHIRALT, 1997).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a transferência de massa em processos de desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de



yacon em soluções de sorbitol e de frutose. O ajuste do modelo hidrodinâmico de Fito também foi testado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Descrição dos materiais e métodos adotados para cinética de desidratação osmótica de yacon.

### **2.1 Matéria-prima**

Tubérculos de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foram obtidos no mercado local (Mercado HiperVerdurão, cidade de Lavras, MG). Selecionaram-se os tubérculos utilizados nos experimentos de acordo com a homogeneidade de tamanho, peso, intensidade de cor da casca e firmeza. Eles foram armazenados em refrigerador (aproximadamente 10°C) por, no máximo, três dias antes do uso, para a garantia da qualidade inicial do produto, principalmente em relação à estabilidade dos frutanos.

### **2.2 Preparo da matéria-prima**

Inicialmente, o tubérculo foi lavado em água corrente e sanificado em hipoclorito de sódio (200 mg.L<sup>-1</sup> por 15 minutos) para posterior descascamento e cortes em tamanhos homogêneos. Com o auxílio de uma faca de aço inoxidável e de um molde, as amostras foram cortadas em fatias de 2,0 cm x 2,0 cm x 0,5 cm (largura x comprimento x espessura).

### **2.3 Caracterização da matéria-prima**

Para a caracterização da matéria-prima, realizou-se a análise da composição centesimal, teor de umidade, extrato etéreo, cinza, proteína,

carboidrato e fibra bruta de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2002).

Verificaram-se, também, o teor de frutanos, a quantidade de sólidos solúveis, a atividade de água e a cor. Os métodos de análise foram os listados a seguir:

- a) sólidos solúveis - leitura direta em refratômetro digital de bancada HANNA Instruments, modelo HI 96801;
- b) teor de umidade – determinada através do método gravimétrico de secagem em estufa, a 65 °C, até peso constante (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2007);
- c) atividade de água - determinação com o uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA), a 25 °C;
- d) parâmetros de cor - determinação dos parâmetros a\*, b\* e L\*, com o colorímetro de triestímulo Minolta CR 400 (Minolta Câmera Co. Ltda., Osaka, Japan); calculou-se a variável croma conforme equação 1,

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

- e) teor de frutanos - determinado pelo método enzimático conforme método 997.08 da AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2005).

## 2.4 Desidratação osmótica

Os experimentos de PVOD foram conduzidos em um equipamento projetado para trabalhar tanto à pressão atmosférica quanto com uso de vácuo. O desidratador (Figura 1) é composto por uma câmara encamisada de aço inox (A-240-304) com volume útil de 50 litros, volume mínimo de operação de 10 litros e acesso pela parte superior. O controle da temperatura de trabalho é feito por um banho termostatzado acoplado à camisa da câmara, permitindo faixa de temperatura de trabalho de 5 °C a 70 °C. Uma bomba de vácuo acoplada ao sistema permite a formação do vácuo em diferentes valores de pressão reduzida (até 250 mbar). O equipamento permite a aquisição de dados de temperatura da solução osmótica, pressão de vácuo e agitação da solução osmótica.

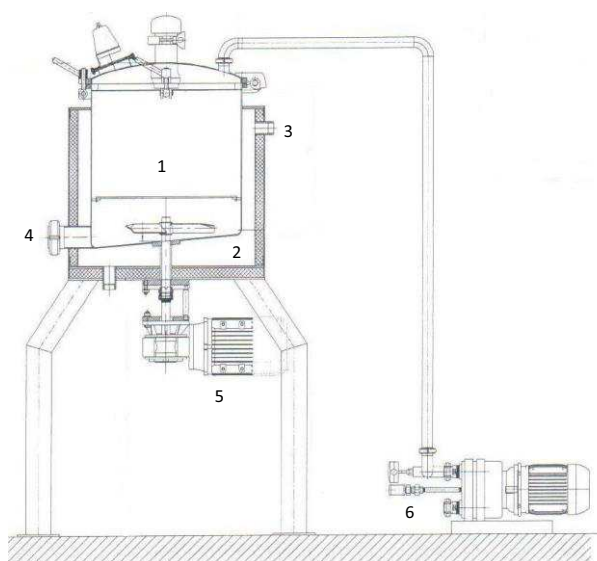


Figura 1 Detalhamento do sistema experimental (sendo 1 - interior do desidratador osmótico; 2 - interior da camisa do equipamento; 3 - comunicação da camisa do desidratador com o banho termostatzado; 4 - saída para a retirada da solução osmótica; 5 - motor acoplado à pá no interior do desidratador para promover agitação; 6 - bomba de vácuo)

As fatias de yacon foram acondicionadas em estojos de aço inox e estes foram imersos em solução osmótica no interior do desidratador osmótico, na razão solução:tubérculo de, aproximadamente, 25:1 (peso:peso), para que não houvesse alterações significativas na concentração da solução osmótica pelo próprio processo osmótico ou pela retirada de amostras, conforme esquema da Figura 2.



Figura 2 Esquema representativo do experimento de PVOD

### 2.5 Cinética de desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)

Os experimentos de desidratação osmótica foram realizados em soluções de frutose e de sorbitol, ambas a 30 °Brix. A temperatura de desidratação foi de 28 °C. Foram aplicados 80 mm Hg de vácuo nos 10 primeiros minutos de desidratação, caracterizando-se o uso de pulso de vácuo. Estas condições de processamento osmótico foram escolhidas para esta etapa por serem, dentre as condições de processamento osmótico a serem testadas em etapas posteriores, as que se referem estatisticamente ao nível codificado -1, o que deve demandar um

período maior para a obtenção de equilíbrio termodinâmico. Cada experimento foi realizado em triplicata.

Para a exemplificação dos parâmetros fixados neste capítulo, apresenta-se a Tabela 1, na qual se apresentam os níveis estatísticos do próximo capítulo, identificando os níveis codificados e suas variáveis reais.

Tabela 1 Delineamento experimental adotado para a otimização da desidratação osmótica de yacon

Ensaio	Variáveis codificadas			Variáveis reais		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	T [°C]	C.S. [°Brix]	PV [mmHg]
1	-1	-1	-1	28	30	80
2	+1	-1	-1	40	30	80
3	-1	+1	-1	28	53	80
4	+1	+1	-1	40	53	80
5	-1	-1	+1	28	30	170
6	+1	-1	+1	40	30	170
7	-1	+1	+1	28	53	170
8	+1	+1	+1	40	53	170
9	-1,68	0	0	24	41,5	125
10	+1,68	0	0	44	41,5	125
11	0	-1,68	0	34	22	125
12	0	+1,68	0	34	60,8	125
13	0	0	-1,68	34	41,5	49,4
14	0	0	+1,68	34	41,5	200,6
15	0	0	0	34	41,5	125
16	0	0	0	34	41,5	125
17	0	0	0	34	41,5	125
18	0	0	0	34	41,5	125

sendo T a temperatura, C.S. a concentração da solução osmótica e PV o pulso de vácuo

Após o processamento osmótico, as amostras tiveram suas superfícies rapidamente lavadas em água mineral gelada para cessar o processo de desidratação e para a remoção do excesso de solução desidratante e, em seguida,

tiveram sua superfície cuidadosamente seca com papel absorvente, para a remoção do excesso de água de lavagem.

As amostras foram retiradas em períodos pré-determinados, para a obtenção de curvas de cinética, perda de peso, perda de água e ganho de sólidos, até a obtenção da condição de equilíbrio, ou seja, redução de peso constante. As cinéticas obtidas serviram de base para a definição do tempo de PVOD em processos osmóticos posteriores.

Para a determinação das curvas de cinética da perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), antes e após o processamento osmótico, as amostras foram pesadas em balança analítica (0,0001 g) e determinou-se o teor de água e de sólidos solúveis. Para cálculo de PP, PA e GS, foram utilizadas as Equações 2 a 4.

$$PP(\%) = \frac{(P_0 - P_t)}{P_0} \times 100 \quad (2)$$

$$PA(\%) = \frac{(P_0 X_0) - (P_t X_t)}{P_0} \times 100 \quad (3)$$

$$GS(\%) = \frac{(S_t - S_0)}{P_0} \times 100 \quad (4)$$

em que  $P_0$ : peso da amostra no tempo  $t = 0$  (min);  $P_t$ : peso da amostra no tempo  $t = t$  (min);  $X_0$ : teor de água da amostra no tempo  $t = 0$  (min);  $X_t$ : teor de água da amostra no tempo  $t = t$  (min);  $S_0$ : peso de sólidos (matéria seca) da amostra no tempo  $t = 0$  (min);  $S_t$ : peso de sólidos (matéria seca) da amostra no tempo  $t = t$  (min).

As curvas de cinética de secagem obtidas foram ajustadas com o modelo hidrodinâmico de Fito (FITO; CHIRAT, 1997), descrito a seguir.

### 2.5.1 Modelo hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico considera a aproximação de equilíbrio (equação 5)

$$z_{\infty}^{SS} = y_{\infty}^{SS} \quad (5)$$

em que  $z_{\infty}^{SS}$  é a fração mássica de sólidos solúveis no alimento e  $y_{\infty}^{SS}$  é a fração mássica de sólidos solúveis na solução osmótica, ambas no estado de equilíbrio.

Como resultado, a difusividade efetiva (ou pseudodifusividade) é a mesma para ambos os componentes, água ( $D_{eff_w}$ ) e sólidos ( $D_{eff_s}$ ).

$$D_{eff_{w\ ou\ s}} = D_{eff_w} = D_{eff_s} \quad (6)$$

As mudanças na composição são função da força motriz reduzida,  $Y$ , dada por

$$Y = Y_t^w = Y_t^s = \frac{z_t^w - z_{eq}^w}{z_0^w - z_{eq}^w} \quad (7)$$

em que  $Y$  representa a força motriz e  $z$  é a fração mássica de sólidos solúveis; os subscritos  $t$ ,  $0$  e  $eq$  identificam um determinado tempo  $t$ , início do processo e equilíbrio, respectivamente.



A variação na composição da fase líquida do alimento (FLP), relacionada ao mecanismo hidrodinâmico (HDM), ocorre no princípio do processo ( $t=0$  a  $t=t_{\text{HDM}}$ ), quando este mecanismo é dominante e é dependente de gradientes de pressão.

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t_{\text{HDM}}} \cong k \quad (8)$$

Após este período, o fenômeno é modelado com a equação de Fick para uma camada semi-infinita e curto tempo (CRANK, 1975), com a aproximação sugerida por Fito e Chiralt (1997).

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=t_{\text{HDM}}}^{t=t} = 2 \left( \frac{D_{\text{eff}} t}{L^2} \right) \left( \pi^{-0,5} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} \text{ierfc} \frac{iL}{\sqrt{D_{\text{eff}} t}} \right) \quad (9)$$

em que  $L$  é a espessura e  $t$  é tempo.

A equação (9) pode ser simplificada no primeiro termo, resultando na equação (10).

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=t_{\text{HDM}}}^{t=t} = 2 \left( \frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (10)$$

Estes dois efeitos são acoplados, considerando-se os efeitos dos mecanismos hidrodinâmico e pseudofickiano.

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t} = k + 2 \left( \frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (11)$$

Os parâmetros  $D_{\text{eff}}$  e  $k$  são obtidos, para cada experimento, por  $1 - Y_t^w|_{\text{PD}, t > 0}$  linearização da equação 10, ajustando por uso de logaritmo, resultando em versus  $t^{0,5}$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a caracterização dos tubérculos de yacon e as curvas de cinéticas da desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo são apresentados a seguir.

#### Caracterização do tubérculo do yacon

Os resultados da composição centesimal em matéria integral do yacon se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 Valor médio dos constituintes do tubérculo de yacon

<b>Componente (%)</b>	<b>Valor médio (Matéria integral)</b>
Umidade	91,25±1,15
Proteína	0,30±0,02
Lipídio	0,07±0,04
Fibra	0,40±0,04
Cinza	0,37±0,10
Carboidrato	7,61±0,09
Frutano	5,66±0,03

Conforme se observa na Tabela 2, o yacon é um alimento rico em água e com baixo percentual de gordura, o que lhe confere um baixo valor energético e, ao mesmo tempo, reduz a sua vida útil. Em termos de matéria seca, tem como maiores constituintes os carboidratos, os quais representam cerca de 86,88±1,02% da matéria seca, sendo 64,80±0,39% frutanos.

Lachman, Fernández e Orsák (2003) e Ojansivu, Ferreira e Salminen (2011) relataram a composição centesimal do yacon encontrada por diversos autores, destacando, na matéria seca, porcentagens de 69,5 a 92,7 para a água; 0,1 a 4,9 para proteína; 0,1 a 1,5 para lipídio; 0,3 a 4,1 para fibra; 0,3 a 6 para cinza e 9 a 13,8 para carboidrato. Estes valores estão em concordância com os apresentados na Tabela 2.

Para o teor de frutanos, valores próximos aos obtidos neste trabalho foram relatados por outros autores. Campos et al. (2012) analisaram 35 tubérculos de yacon e encontraram quantidades de FOS entre 6,4% a 65% em 7,5% a 19% de matéria seca de yacon. Graefe et al. (2004) relataram valores de oligossacarídeos na faixa de 49,8% a 62,1% (b.s) na matéria seca (12,7%) de três diferentes espécies de yacon.

Na Tabela 3 estão representados os resultados da análise física e química da polpa de yacon.

Tabela 3 Análises físicas e químicas da polpa de yacon

	<b>Valor médio</b>
Atividade de água	0,99±0,01
Sólidos solúveis (°Brix)	6,17±0,60
L*	42,80±3,32
a*	0,56±0,27
b*	6,11±0,73
C	6,13±0,74

De acordo com os dados da Tabela 3, em relação ao conteúdo de sólidos solúveis, os tubérculos apresentaram valores de 6,17±0,60 °Brix, abaixo dos

encontrados por Graefe et al. (2004), 10,7% a 13,3°Brix e por Scher, Rios e Noreña (2009),  $9,9 \pm 0,01$  °Brix, o que pode ser justificado pela não homogeneidade dos materiais biológicos.

Observa-se um elevado valor de atividade de água (0,99) encontrado no yacon e este valor elevado é típico de produtos frescos com elevado teor de umidade. Resultado semelhante foi relatado por Scher, Rios e Noreña (2009).

Os parâmetros de cor do yacon indicam uma luminosidade voltada para o branco (elevado valor de  $L^*$ ) e uma tendência à cor amarela (valor positivo de  $b^*$ ) (Tabela 3).

#### Cinética de desidratação osmótica

As cinéticas para perda de peso, perda de água e ganho de sólidos das amostras desidratadas em solução de frutose e em solução de sorbitol são apresentadas no Gráfico 1, 2 e 3, respectivamente.

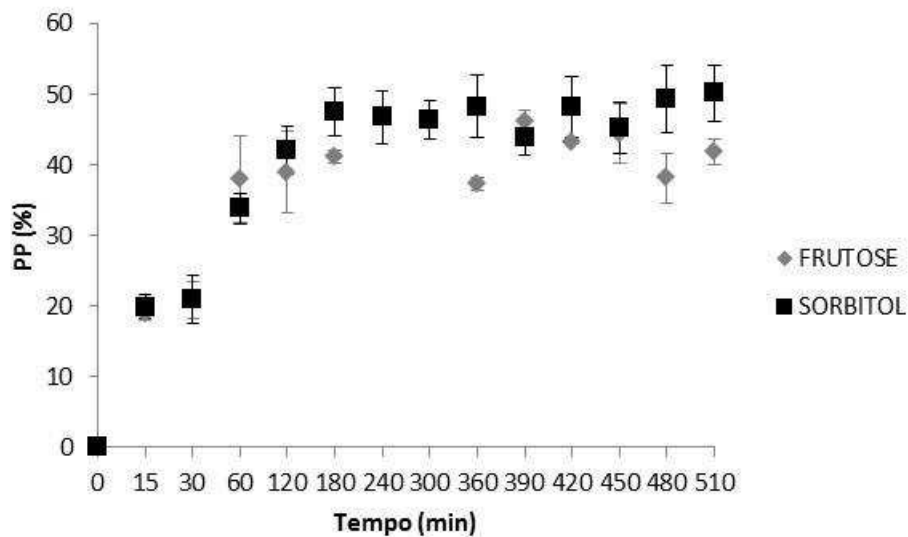


Gráfico 1 Cinéticas de perda de peso (PP) de yacons desidratados osmoticamente, em solução de frutose e de sorbitol

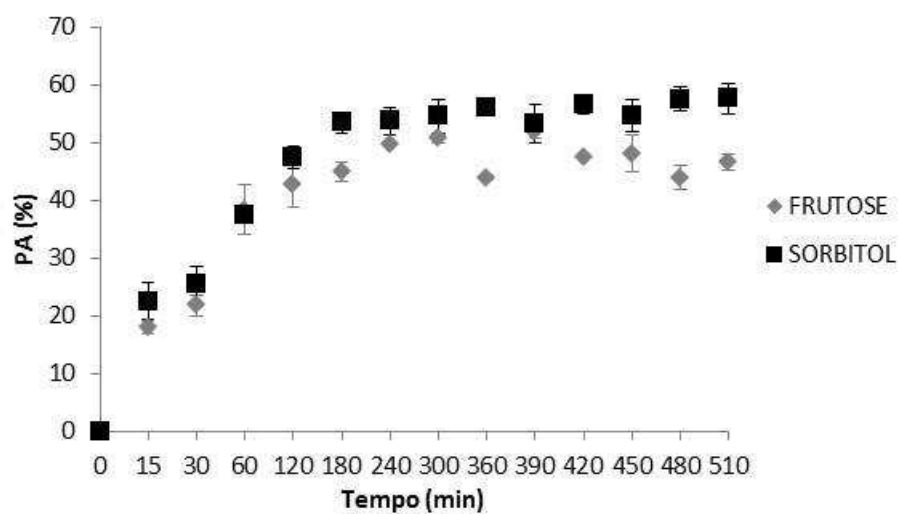


Gráfico 2 Cinéticas de perda de água (PA) de yacons desidratados osmoticamente, em solução de frutose e sorbitol

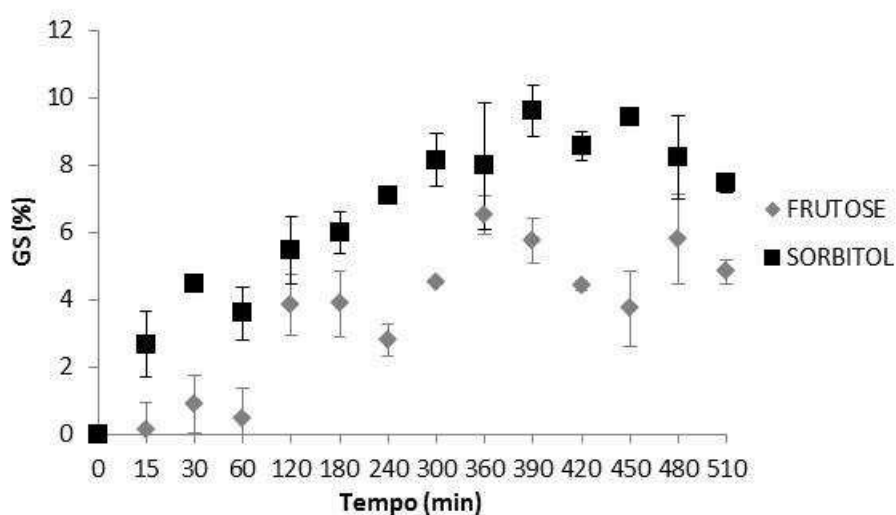


Gráfico 3 Cinéticas de ganho de sólidos (GS) de yacons desidratados osmoticamente, em solução de frutose e de sorbitol

Ambas as soluções levaram a um mesmo perfil de curva, em que maiores PA, PP e GS ocorreram nos primeiros 120 minutos de desidratação e, após 300 minutos de desidratação, as curvas se encontram em equilíbrio (Gráfico 1 e 2). Resultado semelhante foi encontrado por Ruiz-López et al. (2011), ao desidratar carambola em solução de sorbitol. Quintero-Chávez et al. (2012) e Deng e Zhao (2008) também observaram maiores perdas de água e ganho de sólidos no início do processo de desidratação de pimenta em solução de sorbitol e de maçãs em solução de frutose, respectivamente. Buratti (2006), ao desidratar morango em solução de sorbitol, relatou que, após 240 minutos de desidratação, o ganho de sólidos se tornou estável.

O aumento da PA pode ser justificável pela aplicação do pulso de vácuo no início do processo; sua aplicação promove o mecanismo hidrodinâmico, em que o gás existente nos poros do tecido vegetal é removido e, quando a pressão atmosférica é retomada, os poros são preenchidos pela solução osmótica,

ocasionando um aumento na área superficial para a transferência de massa (CORRÊA et al., 2010).

Tanto a solução de sorbitol como a solução de frutose levaram a expressivas perdas de água da amostra, aproximadamente 57% (sorbitol) e 52% (frutose), podendo ser consideradas excelentes desidratantes. O baixo peso molecular do sorbitol ( $182,18 \text{ g mol}^{-1}$ ) e da frutose ( $180,16 \text{ g mol}^{-1}$ ) facilita a saída de água do produto por não formar uma camada periférica, como ocorre com os solutos de elevados pesos moleculares, além de possuir pressões osmóticas superiores às de elevado peso molecular (RUIZ-LÓPEZ et al., 2011), o que favorece a plasmólise da célula vegetal (CHAUHAN et al., 2011).

As amostras desidratadas também obtiveram um expressivo ganho de sólidos, aproximadamente 9,6 % (sorbitol) e 6,5 % (frutose). Segundo Rizzolo et al. (2007), as moléculas de sorbitol têm alto poder de penetração, sendo uma molécula menor com uma maior fração molar, o que facilita a sua penetração no tecido celular.

### **3.1.1 Coeficiente de difusividade efetiva**

Com os dados obtidos, calculou-se o coeficiente de difusividade e os resultados estão apresentados na Tabela 4.



Tabela 4 Coeficiente de difusividade de yacons desidratados em frutose e em sorbitol

Tratamento	Deff (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	Estimativa do erro padrão
Frutose a 30 °Brix	3,63x10 <sup>-10</sup>	0,97	0,068
Sorbitol a 30 °Brix	2,76x10 <sup>-10</sup>	0,99	0,025

Observa-se, pelos dados da Tabela 4, que o modelo hidrodinâmico apresentou um bom ajuste, com elevados valores de R<sup>2</sup> e baixo erro padrão, e que as soluções desidratantes apresentaram valores próximos de difusividade, evidenciando a eficiência de ambas para a retirada de água da amostra. Ispir e Togrul (2009) encontraram valores para damasco desidratado em 70% de solução de frutose e de sorbitol iguais a 1,55 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s e 1,53x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s, respectivamente.

No Gráfico 4 apresentam-se os valores experimentais obtidos e os preditos para o ajuste do modelo hidrodinâmico, sendo possível observar o bom ajuste do modelo para a desidratação em ambas as soluções (frutose e sorbitol).

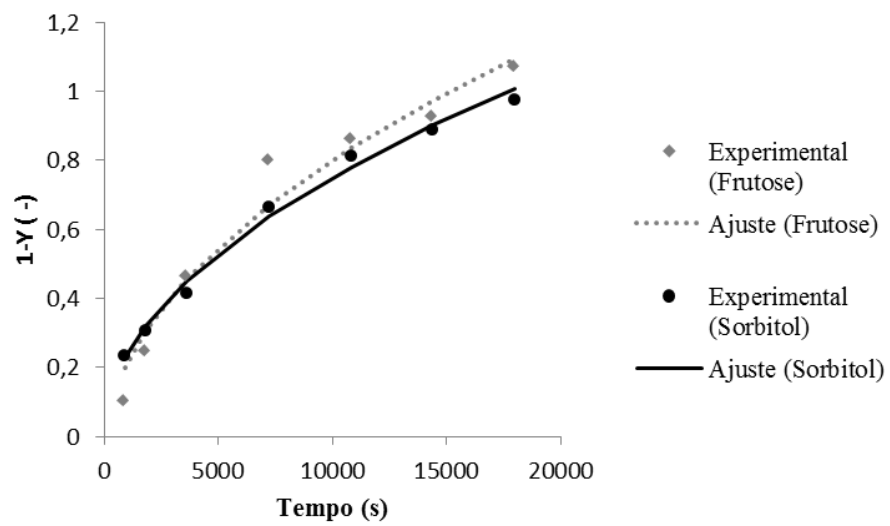


Gráfico 4 Fração de difusão ( $1-Y$ ) obtida experimentalmente e calculada pelo ajuste do modelo hidrodinâmico

#### 4 CONCLUSÃO

Sorbitol e frutose se mostraram eficientes como agentes desidratantes de yacon.

Observaram-se maiores perdas de água, de peso e ganho de sólidos nos primeiros 120 minutos de desidratação. Em 300 minutos de desidratação, as curvas de cinética já se encontram em equilíbrio.

As regressões para as curvas de cinéticas apresentaram um bom ajuste. O modelo de difusão hidrodinâmico também obteve um bom ajuste, permitindo a determinação dos coeficientes hidrodinâmicos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists International**. 18. ed. Gainstherburg: Horwitz, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists International**. 18. ed. New York: AOAC International, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists International**. 17. ed. Gainstherburg: Horwitz, 2005.

BURATTI, S. et al. Electronic nose to detect strawberry aroma changes during osmotic dehydration. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, n. 4, p. 184-189, May 2006.

CAMPOS, D. et al. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp.& Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, London, v. 135, n. 3, p. 1592-1599, Dec. 2012.

CHAUHAN, O. P. et al. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. **International Journal of Food Properties**, New York, v. 14, n. 5, p. 1037-1048, 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 96, n. 4, p. 498–504, Feb. 2010.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Caredon Press, 1975.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 1, p. 84-93, Mar. 2008.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp. c.v. Gulflaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

FERRARI, C. C. et al. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 436-443, Feb. 2011.

FITO, P. et al. Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods, In: SINGH, P.; OLIVEIRA, F. (Ed.). **Process optimization and minimal processing of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 107–121.

FITO, P.; CHIRALT, A. An approach to the modeling of solid food-liquid operations: application to osmotic dehydration. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. (Ed.). **Food engineering 2000**. New York: Chapman and Hall, 1997. p. 231–252.

GRAEFE, S. et al. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2-3, p. 157-165, Mar. 2004.

ISPIR, A.; TOGRUL, I. T. The influence of application of pretreatment on the osmotic dehydration of apricots. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 33, n. 1, p. S58-S74, 2009.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use: a review. **Plant Soil Environmental**, Oxford, v. 49, n. 6, p. 283-290, 2003.

MORENO, J. et al. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 4, p. 621-627, June 2011.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 22, n. 1, p. 40-46, Jan. 2011.

QUINTERO-CHÁVEZ, R. et al. Modeling of total soluble solid and NaCl uptake during osmotic treatment of bell peppers under different infusion pressures. **Food and Bioprocess Technology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 184-192, Jan. 2012.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Developments in osmotic dehydration. In: SUN, D. W. (Ed.). **Emerging technologies for food processing**. London: Academic Press, 2005. p. 221-250.

RIZZOLO, A. et al. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): influence of osmotic solution composition and processing time. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 40, n. 3, p. 529-535, Apr. 2007.

RUIZ-LÓPEZ, I. I. et al. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 2, p. 218-226, May 2011.

SCHER, C. F.; RIOS, A. de O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **Internacional Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 44, n. 11, p. 2169-2175, Nov. 2009.

### **CAPÍTULO 3**

#### **Otimização da desidratação osmótica de yacon em solução de frutose e de sorbitol**

##### **RESUMO**

Condições ótimas de desidratação osmótica (DO) de yacons podem gerar produtos com maior durabilidade, sem grandes alterações de suas propriedades iniciais. Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a influência da temperatura (T), da intensidade do pulso de vácuo (PV) e da concentração da solução osmótica (CS) de frutose e sorbitol na perda de peso (PP), na perda de água (PA), no ganho de sólidos (GS) e nas propriedades físico-químicas de yacons desidratados osmoticamente. Realizou-se um delineamento composto central rotacional, tendo como variáveis independentes T (24 a 44 °C), CS (22 a 60,8 °Brix) e PV (49,4 a 220,6 mmHg). As respostas foram obtidas após 300 minutos de desidratação. O sorbitol se mostrou como melhor agente desidratante para o yacon, por preservar mais o teor de frutanos, retendo de 28,13% a 82,03%, em contrapartida a 2,79% a 39,48% de retenção de frutanos, para as amostras desidratadas em frutose. Estabeleceu-se, como ponto ótimo, a DO a 35 °C, 38 °Brix de sorbitol e aplicação de 74 mmHg de PV, nos 10 primeiros minutos de desidratação

Palavras-chave: Delineamento Composto Central Rotacional. Frutanos. Pulso de vácuo.

## 1 INTRODUÇÃO

O yacon se diferencia dos demais tubérculos por conter como carboidrato reserva fruto-oligossacarídeos (FOS) em vez do amido. Aos FOS são atribuídos alguns benefícios à saúde, como controle do diabetes e da obesidade por não ser digerido no cólon. É considerado um alimento prebiótico com poder bifidogênico, pois leva ao aumento da microflora benéfica (bifidobactérias) (GRAEFE et al., 2004; PEREIRA; BARCELOS; PEREIRA, 2013).

O consumo do yacon costuma ser do produto fresco. Porém, como observado em outros trabalhos (GRAEFE et al., 2004; MALDONATO et al., 2008; LAGO et al., 2012; PEREIRA; BARCELOS; PEREIRA, 2013), este tubérculo é sazonal, de elevada atividade de água e seus teores de FOS diminuem com o tempo de armazenamento. Por estes motivos, é necessário o uso de tecnologias apropriadas para a sua conservação.

A secagem é um método bastante eficiente de conservação de alimentos pela decorrente redução da atividade de água (JANGAM, 2011). Entretanto, pela exposição a altas temperaturas, costuma levar à degradação de nutrientes. A desidratação osmótica (DO) é bastante utilizada como pré-tratamento para a secagem, pois auxilia na preservação das características físicas, químicas e nutricionais do produto seco, além de aumentar a taxa de secagem (KLEWICKI. UCZCIWEK, 2008; CORRÊA et al., 2011; FANTE et al., 2011; LI et al., 2012).

As taxas de transferência de massa em DO podem ser aumentadas com a aplicação de pulso de vácuo no início do processo (DENG; ZHAO, 2008; MORENO et al., 2011), processo conhecido como desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD). Esta aplicação promove a expansão dos poros do tecido vegetal e, conseqüentemente, o escape dos gases presentes nestes e, quando a



pressão é restaurada, os poros estão livres, facilitando a liberação de água e a difusão de solutos (FITO et al., 1994; FERRARI et al., 2011).

Existe pouco conhecimento sobre as mudanças das características, principalmente da composição de FOS, ocorridas durante a desidratação osmótica do yacon. Tal conhecimento é importante para a padronização e a maior preservação de suas características benéficas.

A análise por superfície de resposta possibilita a otimização de uma melhor condição de desidratação osmótica. Por meio desta metodologia, Singh et al. (2010), Ozdemir et al. (2008), Jokic et al. (2007) e Eren e Kaymak-Ertekin (2007) chegaram a melhores condições de processamento osmótico para DO de cenoura, pimenta verde, beterraba e batata, respectivamente.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de otimizar a PVOD de yacons, levando em consideração a temperatura, a intensidade do pulso de vácuo, a concentração da solução e o tipo de solução desidratante (sorbitol ou frutose).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a otimização da desidratação osmótica, alguns métodos devem ser definidos, os quais se encontram estabelecidos a seguir.

### Otimização da desidratação osmótica

O preparo da matéria-prima e a desidratação osmótica foram realizados conforme itens 2.3 e 2.4 do capítulo 2.

Para a otimização do processo de desidratação osmótica com uso de pulso de vácuo do yacon, definiu-se um planejamento experimental baseado na Metodologia de Superfície de Resposta (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Foi feito um delineamento composto central rotacional (DCCR), sendo um fatorial completo  $2^3$ , incluindo 6 pontos axiais e 4 repetições no ponto central, totalizando 18 ensaios. Os níveis utilizados e os ensaios experimentais se encontram na Tabela 1. Foram realizados dois planejamentos completos com relação às variáveis independentes: pressão de vácuo (49,4 a 200,6 mmHg), concentração da solução osmótica (22 a 60,8 °Brix) e temperatura da solução osmótica (24 a 44 °C), diferindo o tipo de solução (frutose e sorbitol), totalizando 36 experimentos. Estabeleceram-se as faixas de pressão de vácuo e a concentração da solução, abrangendo os níveis mínimos e máximos utilizados na literatura. Para a temperatura, adotou-se um máximo de 44 °C, priorizando a DO em baixas temperaturas, buscando menores degradações na amostra desidratada.

Tabela 1 Delineamento experimental para os ensaios de desidratação osmótica de yacon

Ensaio	Variáveis codificadas			Variáveis reais		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	T [°C]	CS [°Brix]	PV [mmHg]
1	-1	-1	-1	28	30	80
2	+1	-1	-1	40	30	80
3	-1	+1	-1	28	53	80
4	+1	+1	-1	40	53	80
5	-1	-1	+1	28	30	170
6	+1	-1	+1	40	30	170
7	-1	+1	+1	28	53	170
8	+1	+1	+1	40	53	170
9	-1,68	0	0	24	41,5	125
10	+1,68	0	0	44	41,5	125
11	0	-1,68	0	34	22	125
12	0	+1,68	0	34	60,8	125
13	0	0	-1,68	34	41,5	49,4
14	0	0	+1,68	34	41,5	200,6
15	0	0	0	34	41,5	125
16	0	0	0	34	41,5	125
17	0	0	0	34	41,5	125
18	0	0	0	34	41,5	125

Em que T é a temperatura, CS é a concentração da solução osmótica e PV o pulso de vácuo

#### Caracterização da amostra desidratada

As variáveis dependentes analisadas foram PP, PA, GS, teor de umidade, teor de frutanos, parâmetro de cor ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$ ) e atividade de água, conforme descrito no capítulo anterior. Para cor, calcularam-se a variável croma (C) e o diferencial de cor ( $\Delta E$ ), conforme Equações 1 e 2, respectivamente.

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

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

Estabeleceu-se o tempo de desidratação em 300 minutos. O tratamento dos dados experimentais foi realizado com o auxílio do software Statistica Versão 8.0 (MAKING THE WORLD MORE PRODUCTIVE, 2008). Os modelos estatísticos gerados para a predição da melhor condição foram os modelos completos. Optou-se por este modelo pelo fato de haver várias respostas e cada uma poder ser influenciada por uma variável diferente e, para a otimização, todas as respostas e as variáveis independentes devem ser levadas em conta.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste item, são apresentados os resultados das análises de parâmetros, como PP, PA, GS, atividade de água, cor e teor de frutanos, utilizados para se estabelecer as condições ótimas da PVOD.

Desidratação osmótica em solução de frutose

A seguir, descrevem-se os resultados obtidos com a desidratação osmótica de yacons em solução de frutose.

#### **3.1.1 Perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água de yacon desidratado osmoticamente em solução de frutose**

A desidratação de yacon em solução osmótica de frutose levou à expressiva perda de água (45,04% a 74,82%) e perda de peso (43,72% a 65,75%). No entanto, também causou expressivo ganho de sólidos (3,28% a 10,79%) (Tabela 2). Togrul e Ispir (2007) encontraram uma relação semelhante ao desidratar damasco em solução de frutose.

Maldonato et al. (2008), ao desidratarem osmoticamente yacons em solução de 40 °Brix de sacarose, a 25 °C, por 150 minutos, encontraram valores de ganho de sólidos (9,5%) próximos ao obtido neste trabalho (8,7%, em DO, a 24 °C e 41,5 °Brix).

Tabela 2 Respostas do delineamento experimental para os ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de frutose

Ensaio	Respostas			
	PP (%)	PA (%)	GS (%)	Aw
1	44,44	53,69	6,91	0,97
2	45,18	53,08	7,61	0,97
3	56,75	71,08	10,70	0,91
4	61,12	70,76	10,13	0,91
5	43,92	53,88	5,73	0,97
6	43,72	45,05	7,16	0,97
7	63,79	68,47	7,54	0,92
8	52,20	63,46	15,66	0,91
9	56,21	65,47	8,72	0,94
10	53,80	68,08	10,79	0,95
11	43,76	46,95	3,28	0,98
12	65,76	74,83	9,82	0,88
13	55,88	64,68	8,92	0,94
14	53,29	56,73	6,06	0,94
15	51,25	60,63	9,70	0,95
16	51,42	59,88	9,70	0,95
17	57,63	65,37	8,35	0,94
18	53,60	64,54	9,94	0,94

PP, PA, GS e Aw se referem a perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água, respectivamente

A análise estatística das respostas, realizada com o auxílio do programa Statistica 8.0, levou em consideração um nível de significância igual a 5%. Os coeficientes de regressão para as respostas PP, PA e GS, após 300 minutos de desidratação osmótica dos yacons, encontram-se sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3 Estimativa do p-valor (p) e coeficientes de regressão (CR) para PP, PA, GS e Aw (solução de frutose)

Fator	PP (R <sup>2</sup> =0,85)		PA (R <sup>2</sup> =0,94)		GS (R <sup>2</sup> =0,80)		Aw (R <sup>2</sup> =0,99)	
	CR	P	CR	P	CR	p	CR	P
Média	53,64	0,00*	62,74	0,00*	9,37	0,00*	0,95	0,00*
T(L)	-0,79	0,42	-0,76	0,38	0,96	0,04*	8,61x10 <sup>-4</sup>	0,38
T(Q)	-0,21	0,83	0,85	0,34	0,35	0,42	-8,10x10 <sup>-5</sup>	0,93
CS (L)	6,85	0,00*	8,42	0,00*	2,02	0,00*	-0,03	0,00*
CS (Q)	-0,30	0,77	-1,22	0,18	-0,78	0,10	-0,01	0,00*
PV(L)	-0,60	0,54	-2,28	0,02*	-0,29	0,48	4,48x10 <sup>-4</sup>	0,64
PV(Q)	-0,36	0,72	-1,29	0,16	-0,45	0,31	-1,02x10 <sup>-4</sup>	0,31
TxCS	-0,97	0,45	0,51	0,64	0,68	0,23	-1,04x10 <sup>-4</sup>	0,41
TxPV	-2,11	0,12	-1,61	0,17	1,18	0,05	-7,08x10 <sup>-5</sup>	0,57
CSxPV	0,01	0,99	-0,26	0,81	0,50	0,37	5,42x10 <sup>-5</sup>	0,66

(\*) indicam variáveis estatisticamente significativas, a 5% de confiança

Observa-se, pelos dados da Tabela 3, que a concentração da solução foi estatisticamente significativa para todas as respostas, sendo que maiores concentrações levam a maiores perdas de peso, perdas de água e ganho de sólidos, e menores atividades de água. O aumento da concentração osmótica leva a um aumento da pressão osmótica do meio, o que favorece a transferência de massa. Resultados semelhantes também foram relatados por Kotovicz (2011), na desidratação de yacons em solução de frutose.

Apenas a PA apresentou influência significativa do pulso de vácuo, em que o aumento da intensidade de aplicação de pulso de vácuo leva a menores perdas de água. A aplicação de pulso de vácuo resulta na expansão dos poros do tecido vegetal, causando o escape dos gases, fenômeno este que costuma facilitar a transferência de massa (TAIWO et al., 2003; FERRARI et al., 2011). Porém, no presente trabalho, o comportamento foi inverso. As transferências de massas ocorrentes na DO podem estar associadas com diversos outros fatores, como a porosidade do fruto e a concentração da solução osmótica e a ação combinada de diferentes mecanismos de transporte (MORENO et al., 2004; DENG; ZHAO, 2008). Baixas concentrações de solução osmótica (55 °Brix) e a

aplicação de pulso de vácuo promovem ganho hidrodinâmico da solução osmótica nos poros do tecido, chegando, assim, a uma concentração total da amostra com menor perda de água (MORENO et al., 2004).

Assim como Ruiz-López et al. (2011), que trabalharam com DO de carambolas em solução de frutose, para a desidratação com frutose. a temperatura não interferiu significativamente na perda de água.

A partir dos resultados experimentais analisou-se o ajuste das regressões por meio do teste F (Tabela 4). Todas as respostas ofereceram um bom ajuste a regressão a 95% de confiança, gerando as superfícies de resposta para a PP (Gráfico 1), PA (Gráfico 2), GS (Gráfico 3) e Aw (Gráfico 4).

Por meio dos Gráficos 1a, 1b, 2a e 2b, fica evidente a maior influência da concentração da solução em relação aos outros parâmetros (temperatura e pulso de vácuo) na perda de peso e na perda de água. Independente do valor do PV e da temperatura, a elevação da concentração da solução leva a maiores perdas de peso e de água, sendo estes aumentos mais expressivos em concentrações acima de 45 °Brix.

Já para o ganho de sólidos, observa-se que concentrações elevadas da solução associadas a temperaturas e pulso de vácuo também mais elevados levam a um maior GS (Gráfico 3).

No Gráfico 4c fica evidente a não influência significativa da temperatura e do pulso de vácuo na atividade de água do yacon desidratado. Enquanto a CS é significativamente influente. Como maiores concentrações levam a maiores perdas de água e ganho de sólidos, conseqüentemente ocorre também uma diminuição da atividade de água, uma vez que este parâmetro é totalmente dependente da quantidade água e de sólidos do produto.



Tabela 4 Análise de variância da regressão para as respostas PP, PA e GSe Aw, em solução de frutose

Regressão	SQ	GL	QM	Fcal	p-valor
PP	700,37	9	77,81	6,59	0,01
PA	1125,56	9	125,06	13,59	0,00
GS	99,67	9	11,07	5,08	0,02
Aw	0,01	9	0,001	118,24	0,000

F tabelado (5%,9,8) = 3,388

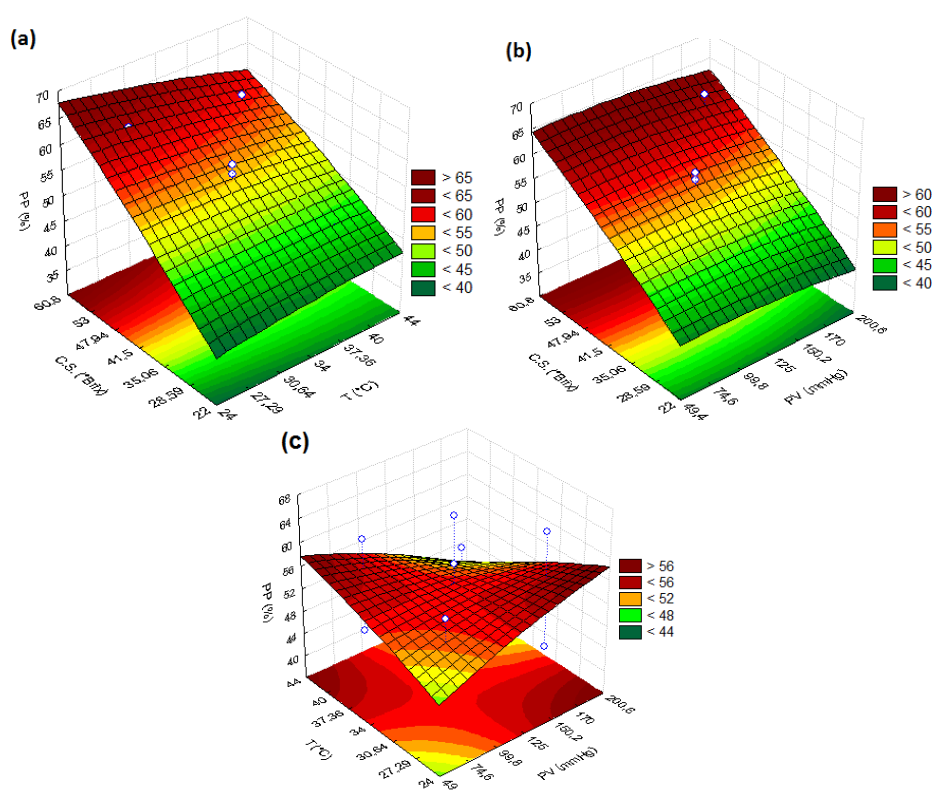


Gráfico 1 Superfície de resposta para a PP em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c)

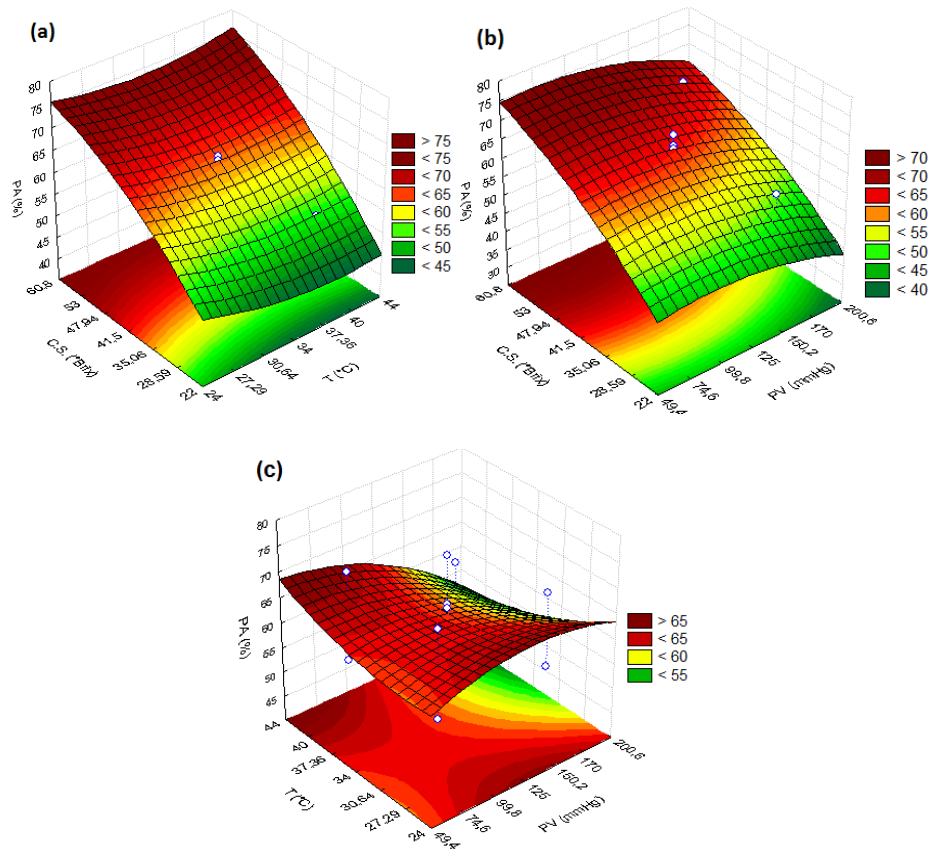


Gráfico 2 Superfície de resposta para a PA em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c)

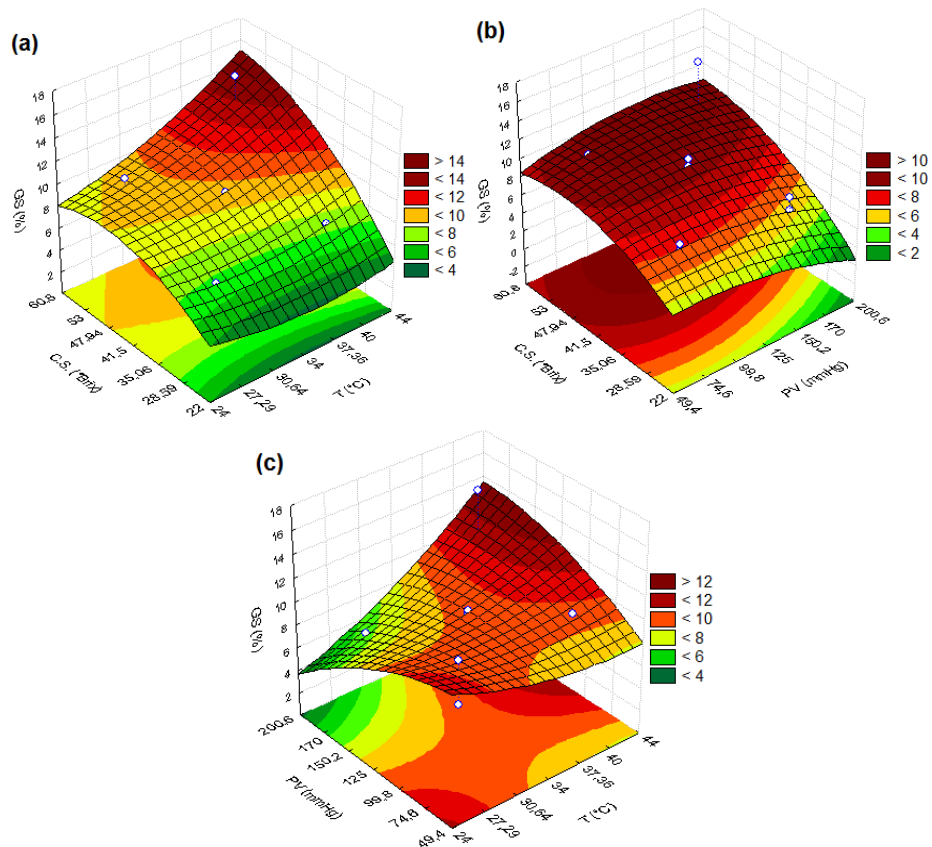


Gráfico 3 Superfície de resposta para o GS em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e T e PV (c)

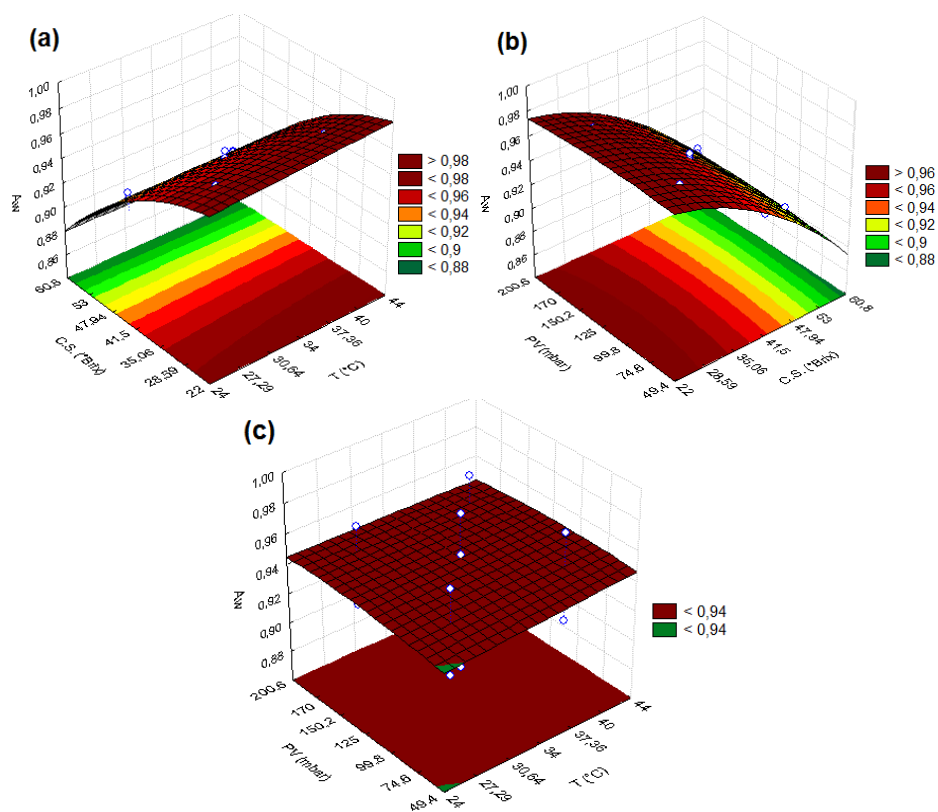


Gráfico 4 Superfície de resposta para a  $A_w$  das amostra DO em solução de frutose em termos de T e CS (a), do CS e PV (b) e T e PV (c)

Kotovicz et al. (2013), levando em consideração as maiores perdas de água e menores ganhos de sólidos de yacons desidratados osmoticamente, chegaram a um ponto ótimo de 68° Brix de solução de frutose, a 30 °C, em tempo de 60 minutos de desidratação. Em nosso estudo, este ponto ótimo, considerando 60,8 °Brix de solução, concentração máxima estudada, levaria a um ganho de sólido intermediário (aproximadamente 10%) com elevada perda de água (acima de 70%).

### 3.1.2 Análises físico-químicas de yacon desidratado osmoticamente em solução de frutose

As respostas obtidas para os parâmetros de cor de cada tratamento encontram-se na Tabela 5. Os coeficientes de regressão para as respostas,  $L^*$ , C e  $\Delta E$ , após 300 minutos de desidratação osmótica dos yacons, estão sumarizados na Tabela 6.

Tabela 5 Respostas dos parâmetros  $L^*$  (luminosidade), c (croma) e  $\Delta E$  (diferencial de cor) dos ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de frutose

Ensaio	Respostas		
	L	C	$\Delta E$
1	51,23	12,01	10,28
2	50,58	10,87	9,22
3	52,29	15,31	13,21
4	52,65	14,24	12,76
5	50,53	11,95	9,68
6	44,04	12,03	6,04
7	56,80	17,06	17,76
8	48,85	14,85	10,78
9	55,34	14,66	15,16
10	44,53	12,39	6,58
11	49,03	10,95	7,90
12	49,03	15,19	11,00
13	49,23	14,48	10,54
14	47,62	11,63	7,31
15	52,64	13,94	12,56
16	49,94	13,43	10,22
17	47,24	15,61	10,49
18	49,19	15,56	11,40

Conforme dados da Tabela 6, as amostras desidratadas em solução de frutose obtiveram diferenças significativas nos parâmetros de cor,  $L^*$  variou

significativamente com a temperatura, C obteve influência da concentração da solução e  $\Delta E$  da temperatura e da concentração da solução.

A diminuição de  $L^*$  com o aumento da temperatura indica o escurecimento da amostra. O aumento da temperatura leva à diminuição da viscosidade da solução osmótica com conseqüente elevação da difusividade da solução para a amostra e o aumento da penetração da solução causa um escurecimento na amostra (LING; BIRCH; LIM, 2005).

$\Delta E$  representa a distância, no espaço de cor tridimensional CIE, entre o ponto representado pela amostra *in natura* e o ponto da amostra tratada. Observa-se (Tabela 6) que há um aumento das alterações na cor total com a diminuição da temperatura ou o aumento da concentração da solução.

Tabela 6 Estimativa do p-valor e coeficientes de regressão para os parâmetros de cor,  $L^*$ , C e  $\Delta E$  (solução de frutose)

Fator	$L^*$ ( $R^2=0,76$ )		C ( $R^2=0,80$ )		$\Delta E$ ( $R^2=0,82$ )	
	CR	p-valor	CR	p-valor	CR	p-valor
Média	49,66	0,00*	14,62	0,00*	11,09	0,00*
T (L)	-2,41	0,00*	-0,60	0,10	-1,94	0,00*
T (Q)	0,45	0,51	-0,30	0,40	0,23	0,66
C.S. (L)	1,04	0,14	1,59	0,00*	1,79	0,01*
C.S. (Q)	0,13	0,85	-0,47	0,21	-0,27	0,61
PV (L)	-0,68	0,31	-0,10	0,77	-0,49	0,35
PV (Q)	-0,08	0,90	-0,47	0,20	-0,46	0,40
T x CS	-0,05	0,95	-0,28	0,53	-0,34	0,61
T x PV	-1,77	0,06	0,01	0,98	-1,14	0,11
CS x PV	0,99	0,26	0,16	0,72	0,79	0,25

(\*) indicam variáveis estatisticamente significativas, a 5% de confiança

A partir dos resultados experimentais, analisou-se o ajuste das regressões por meio do teste F (Tabela 7). Os parâmetros C e  $\Delta E$  obtiveram valores de F calculado bem próximos ao F tabelado. Neste caso, para a confirmação do bom ajuste da regressão, analisou-se o gráfico dos valores

observados *versus* os valores preditos (Gráficos 5 e 6). Como se pode observar nos Gráficos 5 e 6, os pontos estão normalmente distribuídos em torno da reta, indicando uma boa linearidade, ou seja, as previsões se aproximam dos valores reais, o que confirma o bom ajuste do modelo nas condições estudadas, a 95% de confiança, gerando as superfícies de resposta (Gráficos 7 e 8).

Tabela 7 Análise de variância da regressão para as respostas  $L^*$ ,  $C$  e  $\Delta E$ , em solução de frutose

Regressão	SQ	GL	QM	Fcal	p-valor
$L^*$	136,29	9	15,14	2,82	0,08
$C$	45,29	9	5,03	3,49	0,05
$\Delta E$	119,97	9	13,33	4,08	0,03

F tabelado (5%,9,8) = 3,388

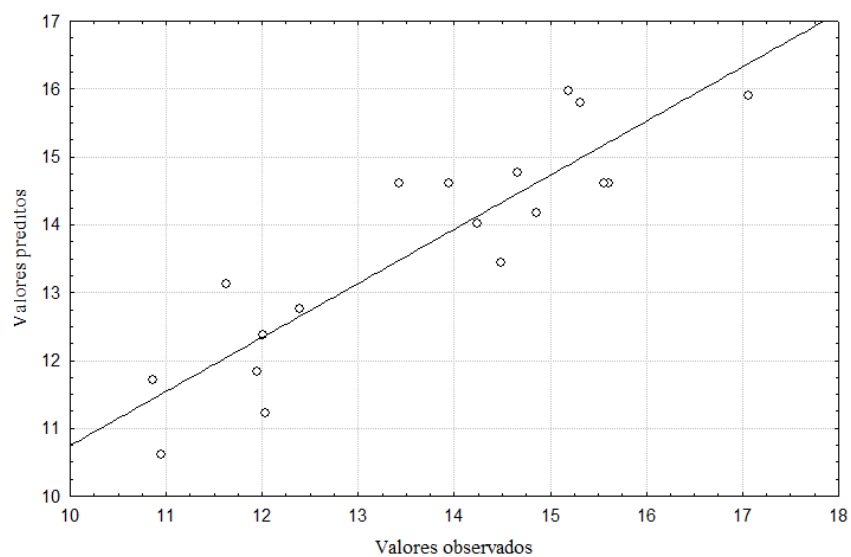


Gráfico 5 Valores preditos *versus* valores observados para o parâmetro  $C$  em solução de frutose

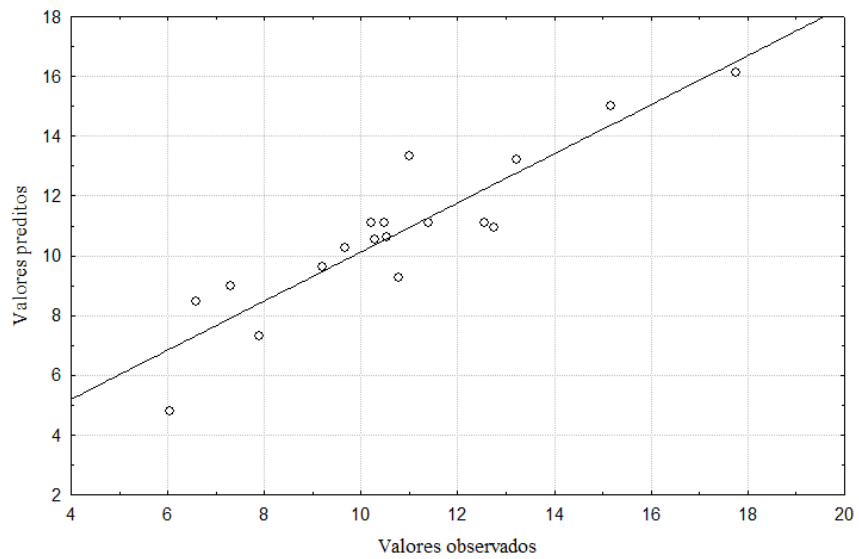


Gráfico 6 Valores preditos *versus* valores observados para o parâmetro  $\Delta E$  em solução de frutose



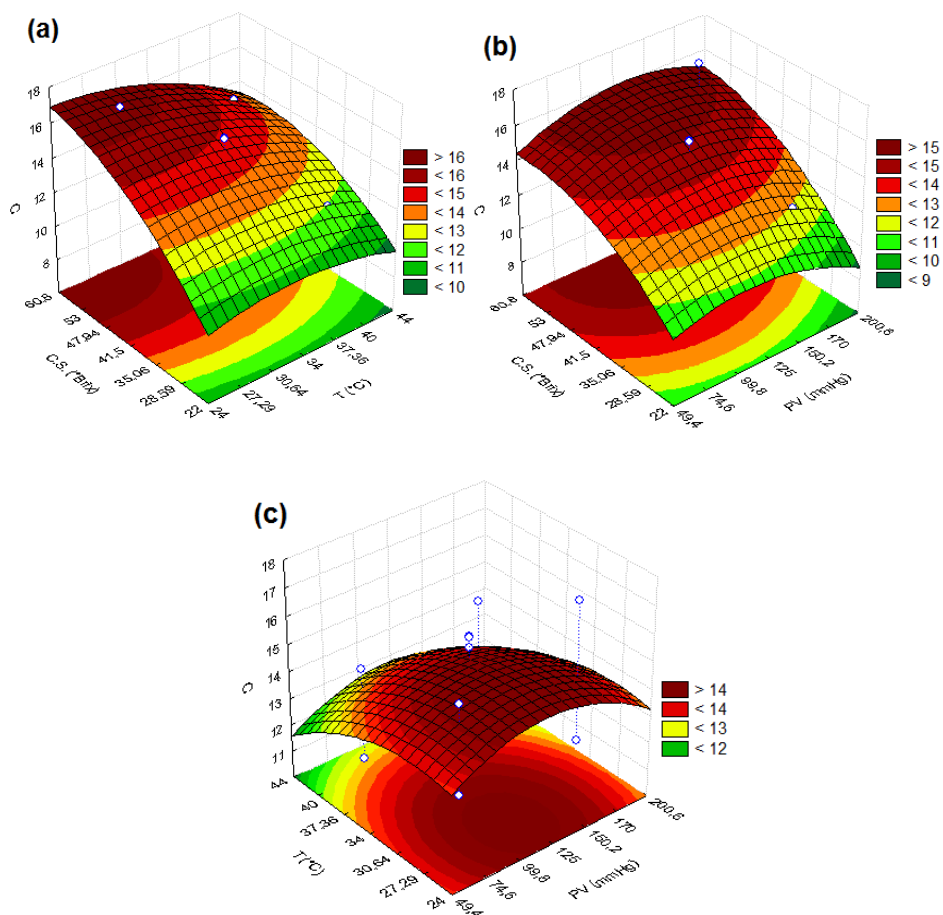


Gráfico 7 Superfície de resposta para o parâmetro  $C$  em solução de frutose, em termos de  $T$  e  $CS$  (a), do  $PV$  e  $CS$  (b) e  $PV$  e  $T$  (c)

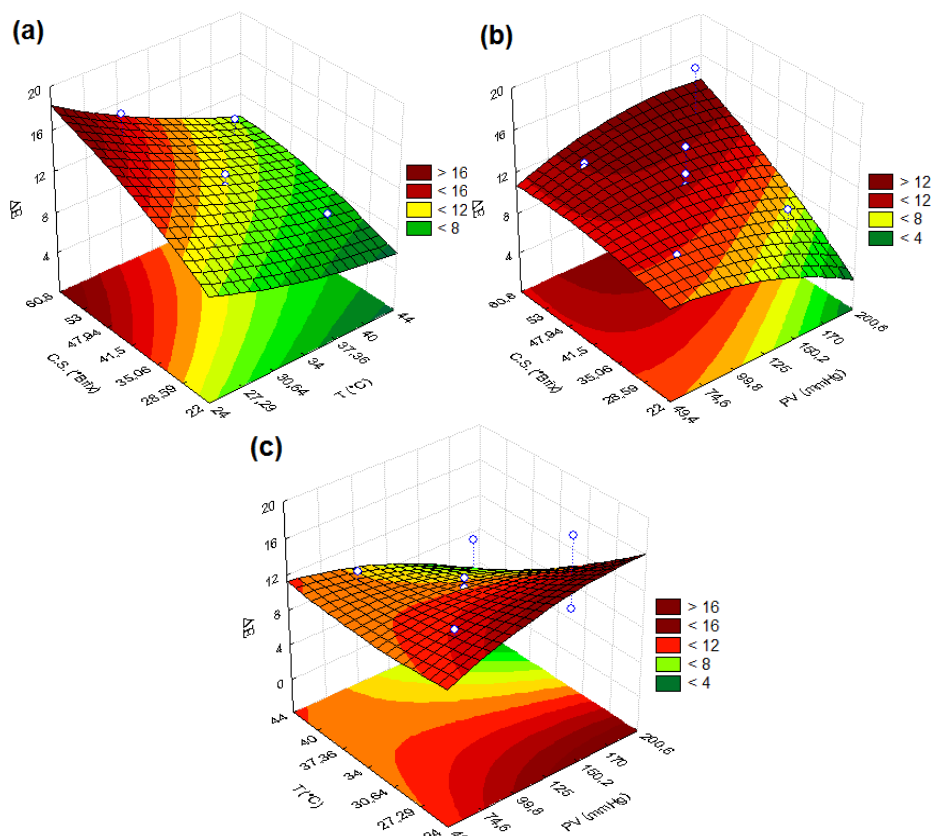


Gráfico 8 Superfície de resposta para o parâmetro  $\Delta E$  em solução de frutose, em termos de T e CS (a), do PV e CS (b) e PV e T (c)

Observa-se, pelo Gráfico 7, a influência significativa da CS no parâmetro croma, em que os valores de croma que se encontram mais próximos do yacon *in natura* ( $6,13 \pm 0,7$ ) são aqueles com baixas concentrações (abaixo de  $28^\circ \text{Brix}$ ), independente da temperatura e do pulso de vácuo.

Como maiores concentrações da solução osmótica levam a um aumento da intensidade da cor da amostra (C), também ocorre maior diferenciação da cor do produto. Assim, menores alterações na cor do produto são observadas a baixas CS (abaixo de  $28^\circ \text{Brix}$ ), associadas com temperaturas mais elevadas (acima de  $35^\circ \text{C}$ ) (Gráfico 6).

### 3.1.3 Análise do teor de frutanos de yacon desidratado osmoticamente em solução de frutose

Os valores obtidos para o teor de frutanos de cada ensaio, na matéria seca, desconsiderando o ganho de sólidos que a amostra obteve e a retenção do teor de frutanos após o processamento, estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 Teor de frutanos (b.s.) de yacons DO em solução de frutose.

Ensaio	Teor de frutanos (% em b.s.)	Teor de frutanos (% em b.s. desconsiderando o GS)	Retenção de frutanos (%)
1	23,77±4,10	31,12	39,48
2	20,26±0,61	27,25	33,90
3	5,48±0,86	7,04	9,49
4	6,06±0,43	7,65	10,42
5	14,91±3,66	18,53	24,44
6	14,18±0,28	19,10	23,62
7	6,23±1,28	7,48	10,41
8	1,52±1,66	2,26	2,79
9	8,24±4,16	10,55	13,96
10	8,09±1,42	11,08	14,03
11	20,55±4,55	24,18	32,85
12	6,83±0,12	8,34	11,71
13	7,23±2,08	9,30	12,27
14	7,84±1,89	9,68	12,89
15	7,85±0,10	10,56	13,44
16	12,32±2,10	16,67	21,09
17	9,34±1,99	11,78	15,76
18	9,30±2,04	12,34	15,96

Observa-se, pelos dados da Tabela 8, que a desidratação osmótica de yacon em solução de frutose ocasionou expressivas perdas de frutanos do produto, uma vez que, no início do processo, o yacon possui, em média, 64,8±0,39%, em base seca, de frutanos. Após 300 minutos de PVOD em solução de frutose, obteve-se uma média de 9,62±0,91%, em base seca, de frutanos. O

maior teor de frutanos observado foi de  $23,77 \pm 4,1\%$  (b.s.), o que corresponde a uma retenção de 39,48% do FOS inicial.

Um nível de significância igual a 95% foi definido para a análise estatística. Na Tabela 9 observam-se os coeficientes de regressão para o teor de FOS na matéria seca de yacon desidratado.

Tabela 9 Coeficientes de regressão para a resposta de teor de frutanos (b.s.) de yacons DO em solução de frutose

	SOLUÇÃO DE FRUTOSE	
	C.R.	p-valor
Média	9,62	0,000*
T (L)	-0,63	0,47
T (Q)	-0,16	0,85
C.S. (L)	-5,63	0,00*
C.S. (Q)	1,79	0,07
PV (L)	-1,30	0,16
PV (Q)	-0,39	0,67
T x C.S.	0,01	0,99
T x PV	-0,31	0,78
C.S xPV	1,39	0,24

Conforme dados da Tabela 9, a porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ) pelo modelo foi de 87% e apenas o termo linear para a concentração da solução foi estatisticamente significativo. O aumento da concentração da solução levou à diminuição do teor de FOS. O fato de o aumento da CS ter levado a uma maior perda água, quantidades expressivas de frutanos podem ter sido lixiviadas do produto para a solução. Além disso, a diminuição do teor de frutanos pode estar diretamente relacionada aos danos mecânicos causados aos tubérculos de yacon. O aumento da concentração da solução osmótica promove o aumento da pressão hidrostática, causando maiores danos ao produto, como o encolhimento e a desintegração da membrana celular (LI et al., 2012).

Para a análise do ajuste da regressão gerou-se a ANOVA do modelo completo (Tabela 10), na qual se observou que a regressão apresenta um bom ajuste, gerando as curvas de regressão (Gráfico 9).

Tabela 10 ANOVA para teor de frutanos (solução de frutose)

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal</b>	<b>p-valor</b>
Regressão	528,20	9	58,69	6,17	0,01
Erro	76,15	8	9,52		
Total	604,35	17			

F tabelado (5%,9,8) = 3,388

No Gráfico 7 observa-se que os maiores teores de frutanos na PVOD de yacon em solução de frutose são alcançados em concentrações de frutose de 22 a 32 °Brix, independente da temperatura e do pulso de vácuo.

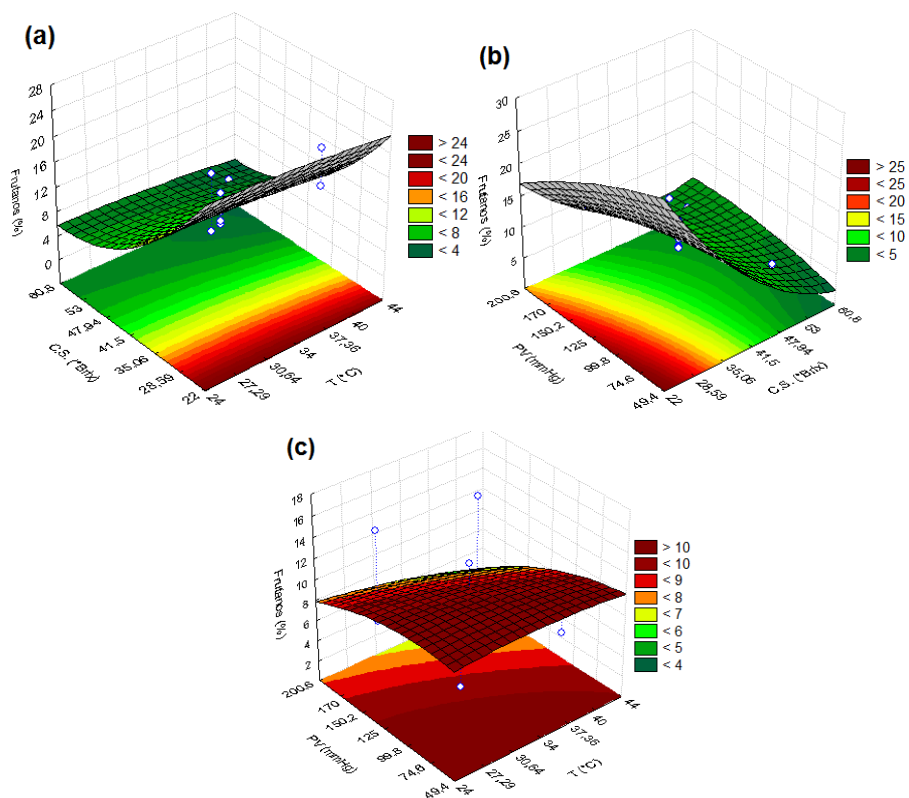


Gráfico 9 Superfícies de resposta do teor de frutanos (b.s.) em solução de frutose  
Desidratação osmótica em solução de sorbitol

A seguir descrevem-se os resultados obtidos com a desidratação osmótica de yacons em solução de sorbitol.

### 3.1.4 Perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água de yacon desidratado osmoticamente em solução de sorbitol

As respostas obtidas para perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e atividade de água (Aw) das amostras de yacons desidratadas osmoticamente em solução de sorbitol estão representadas na Tabela 11.

Observa-se que, após 300 minutos de desidratação, obteve-se uma expressiva perda de peso e de água.

Tabela 11 Respostas do delineamento experimental para os ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de sorbitol

Ensaio	Respostas			
	PP (%)	PA (%)	GS (%)	Aw
1	43,28	50,19	6,85	0,97
2	47,16	53,55	7,29	0,97
3	57,38	67,26	10,58	0,92
4	61,51	70,32	8,38	0,92
5	40,76	49,69	5,56	0,97
6	47,32	57,30	7,59	0,97
7	55,33	61,65	12,20	0,92
8	61,80	70,26	11,53	0,91
9	43,94	52,52	10,34	0,94
10	53,81	60,51	12,84	0,95
11	45,90	49,54	3,64	0,98
12	59,97	73,03	13,06	0,89
13	55,07	63,64	8,56	0,95
14	52,99	62,97	9,97	0,94
15	52,69	61,52	8,84	0,95
16	55,46	63,80	8,84	0,95
17	56,49	65,73	9,24	0,94
18	56,10	64,76	8,66	0,95

PP, PA, GS e Aw se referem à perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água, respectivamente

Os dados obtidos para a PP, PA, GS e Aw de yacons desidratados osmoticamente em solução de sorbitol foram analisados estatisticamente. Os coeficientes de regressão para estas respostas, com seu respectivo p-valor, encontram-se sumarizados na Tabela 12.

Tabela 12 Estimativa do p-valor (p) e coeficientes de regressão (CR) para PP, PA, GS e Aw (solução de sorbitol)

Fator	PP (R <sup>2</sup> =0,94)		PA(R <sup>2</sup> =0,99)		GS (R <sup>2</sup> =0,92)		Aw (R <sup>2</sup> =0,99)	
	CR	P	CR	P	CR	P	CR	P
Média	55,18	0,00*	63,96	0,00*	8,94	0,00*	0,95	0,00*
T (L)	2,76	0,00*	2,64	3,5x10 <sup>-5</sup> *	0,28	0,34	-4,1x10 <sup>-4</sup>	0,63
T (Q)	-2,22	0,01*	-2,66	4,4x10 <sup>-5</sup> *	0,73	0,03*	-6,8x10 <sup>-4</sup>	0,44
CS (L)	5,94	0,00*	7,20	0,00*	2,29	0,00*	-0,03	0,00*
CS (Q)	-0,78	0,25	-0,97	0,02*	-0,42	0,18	-0,01	0,00*
PV (L)	-0,56	0,38	-0,26	0,44	0,45	0,14	-2,5x10 <sup>-3</sup>	0,02*
PV (Q)	-0,39	0,55	-0,26	0,46	-0,09	0,76	-8,0x10 <sup>-4</sup>	0,37
T x CS	0,02	0,98	0,09	0,83	-0,67	0,10	-5,0x10 <sup>-4</sup>	0,65
T x PV	0,63	0,45	1,23	0,02*	0,39	0,31	-1,6x10 <sup>-3</sup>	0,17
CSxPV	0,08	0,93	-1,11	0,03*	0,72	0,08	-1,4 x10 <sup>-3</sup>	0,22

Observa-se, pelos dados da Tabela 12, que a concentração da solução foi estatisticamente significativa para todas as respostas, sendo que maiores concentrações levam a maiores perdas de peso, perdas de água, ganhos de sólidos e menores atividades de água, o que também ocorreu para as amostras desidratadas em solução de frutose.

Diferentemente do ocorrido em solução de frutose, a temperatura passou a ser significativa na perda de água e na perda de peso e continuou significativa para o ganho de sólidos em solução de sorbitol. Maiores temperaturas levam a maiores perdas de peso e de água e ganho de sólidos. Isso está de acordo com o comportamento físico esperado. O aumento da temperatura deve aumentar o coeficiente de difusão em transferências moleculares de massa, como no processo de D.O.

Quintero-Chávez et al. (2012), ao desidratarem pimentas em solução de sorbitol, também encontraram a influência da concentração da solução no ganho de sólidos.



O pulso de vácuo foi significativo na atividade de água, e maiores intensidades de vácuo levam à menor atividade de água. A atividade de água está diretamente relacionada com a perda de água, ou seja, expressivas perdas de água induzem à diminuição da atividade de água. As interações do PV com a CS e com a T também foram significativas para a perda de água, em que maiores PV associados com maiores T levam a uma maior perda de água. Já a combinação de baixo PV com baixa CS gera as menores perdas de água.

Para a análise do ajuste da regressão aplicou-se o teste F (Tabela 13). Todas as respostas (PP, PA, GS e Aw) apresentaram um bom ajuste à regressão, gerando os Gráficos 10, 11, 12 e 13.

Tabela 13 Análise de variância da regressão para as respostas PP, PA, GS e Aw em solução de sorbitol

<b>Regressão</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal</b>	<b>p-valor</b>
<b>PP</b>	607,28	9	73,03	14,92	0,00
<b>PA</b>	918,66	9	102,07	73,18	0,00
<b>GS</b>	95,53	9	10,61	10,28	0,00
<b>Aw</b>	0,01	9	0,001	128,41	0,00

F tabelado (5%,9,8) = 3,388

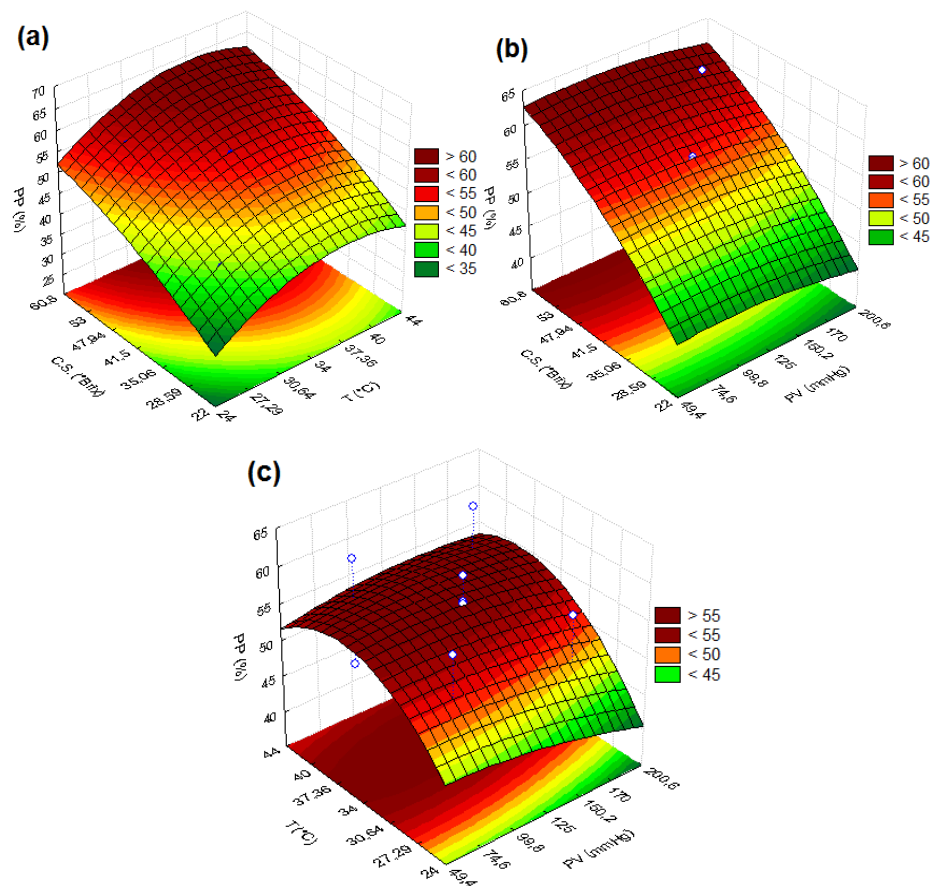


Gráfico 10 Superfície de resposta para a PP, em termos de T e CS (a), PV e CS (b) e PV e T (c) em solução de sorbitol

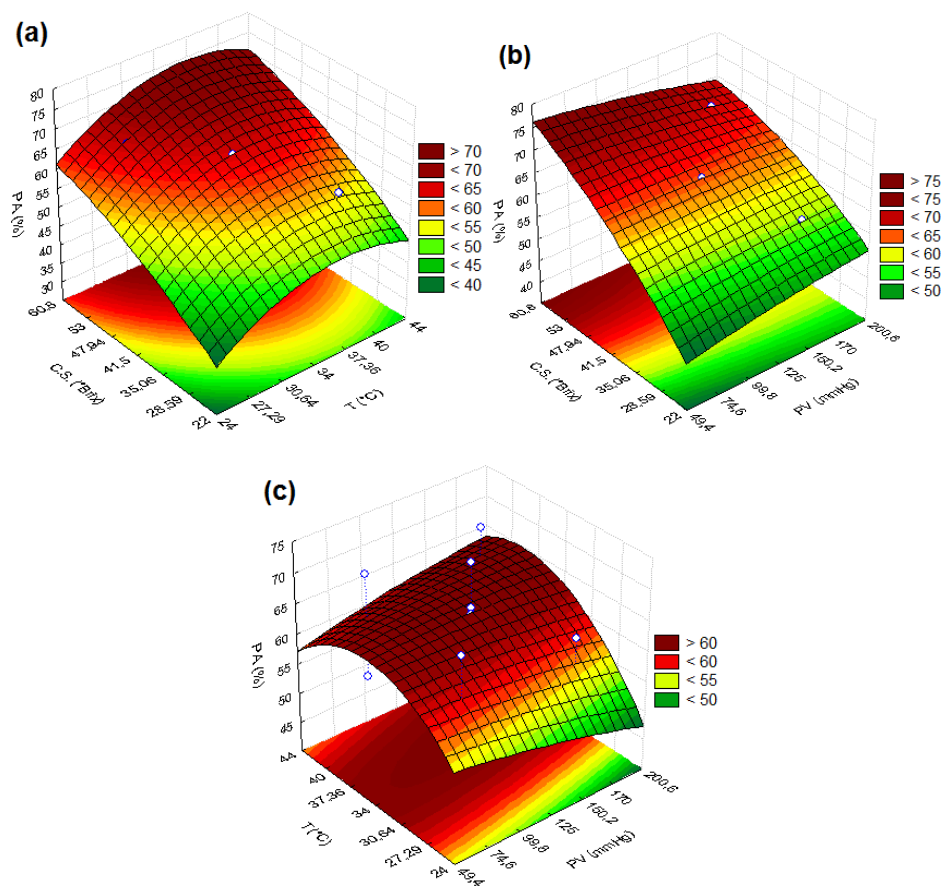


Gráfico 11 Superfície de resposta para a PA, em termos de T e CS (a), PV e CS (b) e PV e T (c) em solução de sorbitol

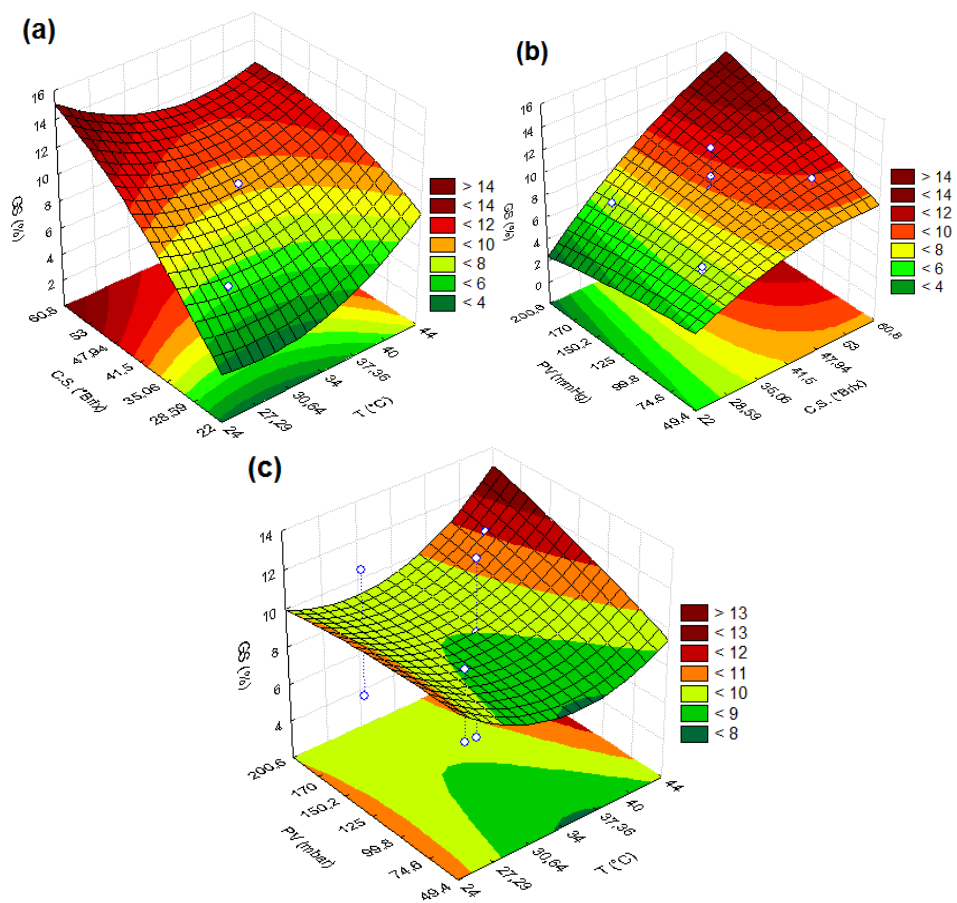


Gráfico 12 Superfície de resposta para o GS, em termos de T e CS (a), CS e PV (b) e T e PV (c) em solução de sorbitol

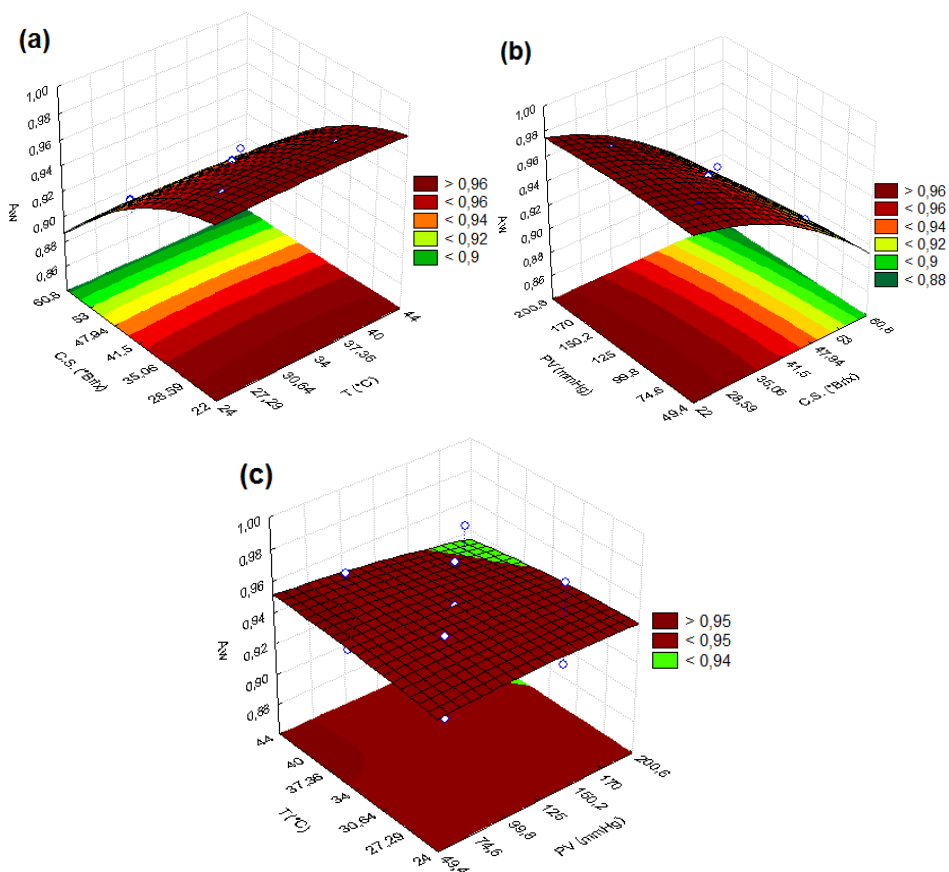


Gráfico 13 Superfície de resposta para a  $A_w$  da amostra DO em solução de sorbitol, em termos de  $T$  e  $\text{CS}$  (a), do  $\text{CS}$  e  $\text{PV}$  (b) e  $\text{PV}$  e  $T$  (c)

Para a escolha de um ponto ótimo para desidratação de yacon em solução de sorbitol com o auxílio das superfícies de respostas (Gráfico 10, 11, 12 e 13) estabeleceram-se faixas ótimas de  $T$ ,  $\text{CS}$  e  $\text{PV}$  (Tabela 14) que geram amostras com maior perda de peso e de água, menor ganho de sólidos e menor atividade de água.

Tabela 14 Faixas ótimas para as respostas PP, PA, GS e Aw (solução de sorbitol)

	PP	PA	GS	Aw
T (°C)	34 a 40	30 a 38	24 a 38	37 a 44
CS (°Brix)	47 a 60	47 a 60	22 a 30	55 a 60
PV (mmHg)	49 a 190	74 a 200	49 a 68	170 a 200

### 3.1.5 Análises físico-químicas de yacon desidratado osmoticamente em solução de sorbitol

As respostas encontradas para os parâmetros  $L^*$ , C e  $\Delta E$  e os coeficientes de regressão das amostras após 300 minutos de desidratação osmótica em solução de sorbitol encontram-se sumarizados nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 Respostas dos parâmetros  $L^*$  (luminosidade), C (croma) e  $\Delta E$  (diferencial de cor) dos ensaios de desidratação osmótica de yacon em solução de sorbitol

Ensaio	Respostas		
	$L^*$	C	$\Delta E$
1	53,77	12,57	12,71
2	48,27	13,21	8,96
3	54,76	14,66	14,73
4	50,34	13,36	10,49
5	55,36	12,41	14,04
6	56,31	10,45	14,29
7	50,97	14,02	11,36
8	49,25	12,72	9,30
9	53,39	11,43	11,88
10	48,33	11,77	7,96
11	48,75	9,82	7,01
12	53,34	13,85	13,15
13	54,09	13,74	13,62
14	53,79	11,72	12,53
15	50,86	12,19	10,10
16	50,48	13,05	10,33
17	51,94	13,57	11,80
18	50,83	13,65	11,01

Tabela 16 Estimativa dos coeficientes de regressão e p-valor para os parâmetros de cor,  $L^*$ , C e  $\Delta E$  (solução de sorbitol)

Fator	$L^*$ ( $R^2=0,77$ )		C ( $R^2=0,75$ )		$\Delta E$ ( $R^2=0,71$ )	
	CR	p-valor	CR	p-valor	CR	p-valor
Média	51,01	0,00*	13,07	0,00*	10,76	0,00*
T (L)	-1,41	0,02*	-0,25	0,35	-1,20	0,03*
T (Q)	0,02	0,96	-0,33	0,24	-0,11	0,83
C.S. (L)	-0,05	0,92	0,94	0,01*	0,45	0,36
C.S. (Q)	0,09	0,86	-0,25	0,37	-0,05	0,92
PV (L)	0,31	0,53	-0,56	0,06	0,02	0,97
PV (Q)	1,11	0,05	0,07	0,80	1,01	0,07
T x CS	-0,20	0,75	-0,16	0,64	-0,35	0,59
T x PV	1,14	0,10	-0,33	0,35	0,77	0,25
CS x PV	-1,81	0,02*	0,20	0,55	-1,40	0,05

(\*) indicam variáveis estatisticamente significativas, a 5% de confiança

Conforme dados da Tabela 16, as amostras desidratadas em solução de sorbitol obtiveram diferenças significativas nos parâmetros de cor,  $L^*$  variou significativamente com a temperatura e a interação CS x PV; C obteve influência da concentração da solução e  $\Delta E$ , da temperatura.

Assim como foi observado para as amostras desidratadas em solução de frutose, o aumento da temperatura levou ao abaixamento de  $L^*$ , indicando o escurecimento da amostra, e de  $\Delta E$ , minimizando as alterações na cor total das amostras desidratadas em sorbitol.

Conforme Chauhan et al. (2011), o parâmetro  $L^*$  é significativamente dependente do peso molecular do agente osmótico utilizado na solução desidratante, o que justifica os valores médios próximos obtidos para a solução de frutose (49,66) e a solução de sorbitol (51,01).

A partir dos resultados experimentais, analisou-se o ajuste das regressões por meio do teste F (Tabela 17). No entanto, as respostas não obtiveram um bom ajuste à regressão, a 95% de confiança.

Tabela 17 Análise de variância da regressão para as respostas  $L^*$ , C e  $\Delta E$  em solução de frutose

<b>Regressão</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal</b>	<b>p-valor</b>
<b>L*</b>	81,76	9	9,08	2,99	0,07
<b>C</b>	20,77	9	2,31	2,73	0,09
<b><math>\Delta E</math></b>	58,71	9	6,52	2,14	0,15

F tabelado (5%,9,8) = 3,388

Como não houve um bom ajuste da regressão, as superfícies de respostas não foram geradas, não sendo possível estabelecer faixas ótimas de T, CS e PV para os parâmetros de cor. No entanto, pode-se prever que ocorrem menores alterações na cor do produto em menores concentrações da solução e em temperaturas mais elevadas.

### **3.1.6 Análise do teor de frutanos de yacon desidratado osmoticamente em solução de sorbitol**

Os valores obtidos para o teor de frutanos de cada ensaio, na matéria seca, desconsiderando o ganho de sólidos que a amostra obteve e a retenção do teor de frutanos após o processamento, estão representados na Tabela 18.



Tabela 18 Teor de frutanos (b.s.) de yacons DO em solução de sorbitol

Ensaio	Teor de frutanos (% em b.s)	Teor de frutanos (% em b.s., desconsiderando o GS)	Retenção de frutanos (%)
1	47,63±9,97	62,97	79,04
2	40,86±2,57	54,33	68,13
3	19,10±3,83	24,90	33,01
4	29,48±2,71	36,32	49,73
5	38,83±1,97	47,44	63,57
6	32,02±2,65	43,19	53,57
7	25,41±0,41	34,92	44,75
8	21,51±1,99	28,12	37,59
9	26,02±11,10	36,29	44,86
10	29,40±1,63	42,97	52,15
11	51,13±19,93	60,79	82,03
12	17,80±3,54	23,41	31,66
13	30,08±5,89	38,67	50,85
14	16,38±2,01	21,85	28,13
15	32,53±1,29	42,66	55,16
16	33,27±1,56	43,20	56,42
17	30,11±1,21	38,77	51,23
18	30,92±0,61	39,55	52,34

Observa-se, pelos dados da Tabela 18, que as amostras desidratadas em solução de sorbitol obtiveram maiores porcentagens de frutanos (16,38±2,01% a 51,13±19,93%) no produto final do que aquelas desidratadas em solução de frutose (1,52±1,66% a 23,77±4,10%), levando a uma retenção de até 82,03% do teor de FOS.

O sorbitol é muito utilizado em produtos farmacêuticos por ser um composto anti-hidrolítico e pelo seu poder umectante (GOES; KFURI, 2005). Este poder anti-hidrolítico pode ter auxiliado na manutenção da molécula de frutanos diante do estresse sofrido pela DO.

Assim como definido para a análise estatística do teor de frutanos em solução de frutose, adotou-se um nível de confiança igual a 95%, gerando os coeficientes de regressão (Tabela 19). Na Tabela 20 apresenta-se o teste da

ANOVA para o ajuste da regressão. Como a regressão obteve um bom ajuste, geraram-se as superfícies de resposta (Gráfico 14).

Tabela 19 Coeficientes de regressão para a resposta de teor de frutanos (b.s.) de yacons PVOD em solução de sorbitol

Fatores	Solução sorbitol	
	C.R.	p-valor
Média	31,53	0,00*
T (L)	-0,10	0,92
T (Q)	-0,64	0,55
C.S. (L)	-8,78	0,00*
C.S. (Q)	1,75	0,13
PV (L)	-3,10	0,01*
PV (Q)	-2,22	0,06
T x C.S.	2,51	0,08
T x PV	-1,79	0,20
C.S xPV	2,00	0,16

Tabela 20 ANOVA para o teor de frutanos (solução de sorbitol)

	SQ	GL	QM	Fcal	p-valor
Regressão	1423,38	9	158,15	11,94	0,000
Erro	105,93	8	13,24		
Total	1529,31	17			

F tabelado (5%,9,8) = 3,388

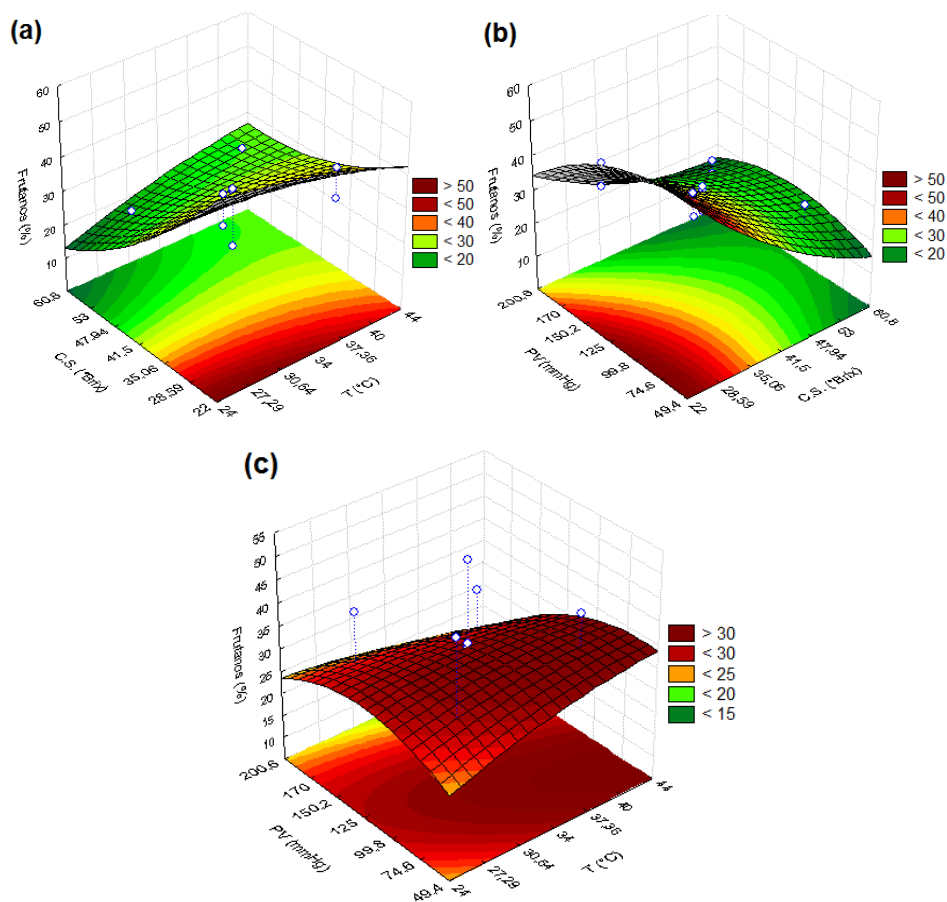


Gráfico 14 Superfícies de resposta do teor de frutanos (b.s.) em solução de sorbitol

Conforme se observa na Tabela 19, o modelo apresentou alta porcentagem de variação explicada ( $R^2$ ), 93%. Na PVOD em solução de sorbitol a CS e o PV influenciaram significativamente o teor dos frutanos, sendo que menores concentrações de sorbitol e intensidades do pulso de vácuo levam a maiores teores de frutanos.

Assim como discutido para PVOD em solução de frutose em relação a maiores degradações celulares devido ao aumento da concentração da solução, o aumento da pressão de vácuo também pode estar associado a maiores alterações

na estrutura celular do fruto, com conseqüente aumento do escape dos frutanos do tubérculo para a solução ou degradação deste. O pulso de vácuo pode causar danos mecânicos no arranjo da célula, tal como a perda celular e a turgência, alterando a resistência da parede celular (FERRARI et al., 2011).

Para ambas as soluções, a temperatura não foi estatisticamente significativa para o teor de frutanos. Klewicki e Uczciwek (2008) relataram a diminuição do conteúdo de nistose em ameixas e de nistose e kestose em maçãs, devido à hidrólise dos fruto-oligossacarídeos durante a desidratação osmótica a 60 °C, temperatura superior à utilizada neste trabalho, e concluíram que o uso da temperatura a 40 °C pode ser favorável para a estabilidade de algumas substâncias contidas no fruto. Sher, Rios e Noreña (2009) observaram a ocorrência da hidrólise do FOS do yacon em secagem a 50 °C, 60 °C e 70 °C, sendo mais expressiva a hidrólise a 70 °C.

Observa-se, pelo Gráfico 14, que os maiores teores de frutanos são alcançados em PVOD em solução de sorbitol com concentrações da solução entre 22 a 38 °Brix, associadas com baixos valores de PV, até, aproximadamente, 100 mmHg, em temperaturas entre 28 a 35 °C.

### **3.1.7 Otimização da desidratação osmótica de yacon em solução de sorbitol**

Levando-se em consideração todas as observações realizadas e com a finalidade de obter um ponto ótimo, analisaram-se todas as faixas ótimas pré-estabelecidas, correspondentes a cada uma das respostas (Tabela 21).

Tabela 21 Faixas ótimas pré-estabelecidas para as respostas frutanos, GS, PA, PP e Aw

	Frutanos	GS	PA	PP	Aw
T (°C)	28 a 35	24 a 38	30 a 38	34 a 40	37 a 44
CS (°Brix)	22 a 38	22 a 30	47 a 60	47 a 60	55 a 60
PV(mmHg)	49 a 100	49 a 68	74 a 200	49 a 190	170 a 200

Como o objetivo é priorizar o maior teor de frutanos, considerou-se como melhor opção a temperatura de 35 °C, por se encaixar na faixa ótima das respostas frutanos, GS, PA e PP, e é a que mais se aproxima da faixa de Aw. Para a concentração da solução, o valor de 38 °Brix, pelo fato de maiores PA, PP e Aw serem encontrados em maiores concentrações de sorbitol e a concentração de 38 °Brix é a maior concentração que possibilita maiores teores de frutanos; para o pulso de vácuo, estabeleceu-se uma intensidade de 74 mmHg, por se enquadrar nas faixas ótimas de frutanos, PA, PP e Aw e, ao mesmo tempo, ser a que mais se aproxima da faixa ótima estabelecida para o GS, chegando a um ponto ótimo de 35 °C, 38 °Brix de solução de sorbitol e 74 mmHg de PV. Neste ponto ótimo, os valores preditos pela regressão encontram-se sumarizados na Tabela 22.

Tabela 22 Valores preditos com seus intervalos de confiança (IC)

<b>Parâmetro</b>	<b>Resposta (IC)</b>
Frutanos (% em b.s)	35,54(30,16 a 41,64)
GS (%)	7,85 (6,87 a 8,83)
PA (%)	61,39(60,25 a 62,53)
PP (%)	53,73 (51,60 a 55,86)
Aw	0,957 (0,954 a 0,960)

Nas condições usadas por Ventura (2004), para a otimização do processo de desidratação osmótica do yacon em xarope de sorbitol, encontraram-se maiores perdas de água e menor incorporação de sólidos em uma faixa de 30 a 33 °C, 63 a 69 °Brix e tempos de 84 a 120 minutos, com 53% a 55% de PA e 6,02% a 6,46% de GS.

### 3.7.2 Validação

Após a otimização dos dados, seguiu-se com a validação. Amostras de yacons foram desidratadas por 300 minutos em solução de sorbitol a 35 °C, 38 °Brix e aplicação de 74 mmHg de PV nos 10 primeiros minutos de desidratação.

Realizou-se análise da Aw, teor de frutanos, PP, PA e GS e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23 Respostas experimentais para a PA, PP, GS, Aw e teor de frutanos

Parâmetros	Respostas
PA (%)	62,35±2,08
PP (%)	53,74±3,84
GS (%)	7,60±0,90
Aw	0,95±0,005
Frutanos (% em b.s)	32,14±3,97

Observa-se que os valores preditos (Tabela 22) pelos modelos do planejamento experimental estão próximos aos valores experimentais (Tabela 23), reforçando a validade do modelo.

#### 4 CONCLUSÃO

As soluções de frutose e sorbitol se mostraram bons agentes desidratantes, levando a expressivas perdas de peso e de água, apresentando como desvantagem apenas a grande porcentagem de ganho de sólidos.

O parâmetro que mais influenciou a desidratação osmótica de ambas as soluções, para as respostas, PA, PP e GS, foi a concentração da solução, sendo que, quanto mais concentrada a solução, maiores são as PA, PP e GS. Na desidratação em solução de sorbitol, a temperatura também foi significativa, sendo que a elevação da temperatura leva a maiores perdas de peso e de água e ganho de sólidos.

A desidratação de yacons em solução de sorbitol se mostrou mais eficiente em relação à preservação do teor de frutanos, quando comparada à desidratação em solução de frutose.

A metodologia de superfície de resposta se mostrou viável para a otimização da PVOD de yacon em solução de sorbitol e de frutose.

Para ambas as desidratações, menores concentrações de solução levam a maiores teores de frutanos. A temperatura não interfere estatisticamente nesta resposta.

Nas condições analisadas neste trabalho, pode-se estabelecer como faixa ótima a desidratação em solução de sorbitol com concentrações 38 °Brix a 35 °C e de 74 mmHg de pulso de vácuo.

## REFERÊNCIAS

CHAUHAN, O. P. et al. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. **International Journal of Food Properties**, New York, v. 14, n. 5, p. 1037-1048, 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 13, p. 1556-1561, 2011.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 1, p. 84-93, Mar. 2008.

EREN, I.; KAYMAK-ERTEKIN, F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p. 344-352, Mar. 2007.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus sp.*, c.v. Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

FERRARI, C. C. et al. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 436-443, Feb. 2011.

FITO, P. et al. Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods, In: SINGH, P.; OLIVEIRA, F. (Ed.). **Process optimization and minimal processing of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 107-121.

GOES, A. M.; KFURI, C. A. Desenvolvimento e pesquisa de suspensão pediátrica de hidróxido de alumínio. **Revista Científica da Universidade de Franca**, São Paulo, v. 5, n. 1-6, p. 139-144, dez. 2005.



GRAEFE, S. et al. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2-3, p. 157-165, Mar. 2004.

JANGAM, S. V. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 12, p. 1343-1357, 2011.

JOKIC, A. et al. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 47-51, Jan. 2007.

KLEWICKI, R.; UCZCIWEK, M. Effect of osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructooligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value. **Agricultural and Food Science**, Jokioinen, v. 17, n. 4, p. 367-375, 2008.

KOTOVICZ, V. et al. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia Sonchifolia*) in fructose solution. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westpot, v. 38, n. 1, p. 58-74, Jan. 2013.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem de yacon (polymnia sanchifolia)**. 2011. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LAGO, C. C. et al. Characterization of powdered yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice and pulp. **Food and Bioprocess Technology**, Amsterdam, v. 5, n. 6, p. 2183-2191, Aug. 2012.

LI, H. et al. Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 47, n. 5, p. 954-960, Oct. 2012.

LING, H.; BIRCH, J.; LIM, M. The glass transition to determination of drying protocols for colour stability in dehydrated pear slices. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 40, n. 8, p. 921-927, Oct. 2005.

MAKING THE WORLD MORE PRODUCTIVE. **Statsoft**: better decisionig solutions. Washington: SAS Alternative, 2008. Disponível em:<[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>. Acesso em: 13 fev. 2013.

MALDONATO, S. et al. Cinética de la transferencia de massa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 251-256, jan./mar. 2008.

MORENO, J. et al. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 4, p. 621-627, June 2011.

MORENO, J. et al. Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of Chilean Papaya (*Carica candamarcensis*). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 69, n. 3, p. 102-106, Apr. 2004.

OZDEMIR, M. et al. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 41, n. 10, p. 2044-2050, Dec. 2008.

PEREIRA, J. A. R.; BARCELOS, M. F. P.; PEREIRA, M. C. A. Studies of chemical and enzymatic characteristics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food Science and Technology**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 75-83, Mar. 2013.

QUINTERO-CHÁVEZ, R. et al. Modeling of total soluble solid and NaCl uptake during osmotic treatment of bell peppers under different infusion pressures. **Food and Bioprocess Technology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 184-192, Jan. 2012.

RIVA, M. et al. Structure-property relationship in osmo-air-dehydrated apricot cubes. **Food Research International**, Barking, v. 38, n. 5, p.533-542, June 2005.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: uma estratégia sequencial de planejamentos. Campinas: Casa do Pão, 2005.

RUIZ-LÓPEZ, I. I. et al. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 2, p. 218-226, May 2011.

SCHER, C. F.; RIOS, A. de O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **Internacional Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 44, n. 11, p. 2169-2175, Nov. 2009.

SINGH, B. et al. Optimisation of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. **Food Chemistry**, London, v. 123, n. 3, p. 590-600, Dec. 2010.

TAIWO, K. A. et al. Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 6, p. 693-707, Aug. 2003.

TOGRUL, I. T.; ISPIR, A. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 48, n. 10, p. 2611-2621, Oct. 2007.

**VENTURA, F. C. Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e yacon desidratados osmoticamente e acerola. 2004. 207 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.**

## CAPÍTULO 4

### Reutilização da solução osmótica de sorbitol na desidratação de yacon

#### RESUMO

A desidratação osmótica é considerada uma alternativa como pré-tratamento de secagem, por manter as características iniciais do produto. No entanto, também gera como resíduo grande quantidade de solução osmótica com elevado conteúdo orgânico. O reaproveitamento da solução apresenta-se como uma alternativa promissora para viabilizar, econômica e ambientalmente, o processo. Neste trabalho foram estudadas as mudanças no teor de sólidos solúveis, a atividade de água, o pH, a turbidez, a condutividade elétrica, a viscosidade, a densidade e a contaminação microbiológica (mesófilos aeróbios, fungos filamentosos, enterobactérias) na solução de sorbitol utilizada na desidratação pré-otimizada de yacons (38 °Brix, 35 °C, 74 mmHg de pulso de vácuo). As propriedades da amostra desidratada (perda de peso, umidade, cor e sólidos solúveis) também foram estudadas. Quinze desidratações, de 300 minutos cada, foram realizadas, utilizando a mesma solução osmótica. Realizou-se a análise microbiológica da solução após cada uso. Os resultados mostraram que as sucessivas reutilizações levaram a modificações significativas somente para a condutividade elétrica e a turbidez da solução. A contaminação microbiológica permaneceu a níveis aceitáveis, inferior a 10 UFC.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Condutividade elétrica. Turbidez.

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as várias características que conferem a boa aceitabilidade do uso da desidratação osmótica como pré-tratamento de secagem, pode-se destacar a manutenção das características sensoriais e nutricionais iniciais do produto. No entanto, este processo exige grande quantidade de solução osmótica, a qual se torna um problema, se não houver alternativa para o seu fim.

Em escala industrial, o processamento osmótico gera grande quantidade de solução osmótica de elevado conteúdo orgânico. Para garantir a viabilidade econômica do processo e evitar danos ambientais, a reutilização de soluções concentradas para a desidratação osmótica deve ser compreendida como requisito (MORAGA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2011).

Durante o processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) juntamente com o fluxo de água da amostra para a solução pode-se ter o fluxo de substâncias naturais solúveis, como açúcar, minerais vitaminas, sais, ácidos, etc. (GARCIA-MARTINEZ et al., 2002). Como consequência, podem ocorrer mudanças físicas e físico-químicas na amostra e na solução osmótica.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a reutilização da solução osmótica em 15 vezes, avaliando o efeito do seu reuso nas propriedades físico-químicas e microbiológicas da solução, e nos parâmetros de umidade, perda de peso e sólidos solúveis nos yacons desidratados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Definida a condição ótima do processo osmótico, desidratação em solução de sorbitol a 38° Brix, a uma temperatura de 35 °C e aplicação de 74 mmHg, nos 10 primeiros minutos de desidratação de um tempo total de 300 minutos, procedeu-se ao estudo da solução osmótica.

### Reutilização da solução osmótica

Analisou-se a reutilização da solução por 15 vezes (ciclo), durante 15 dias. Realizaram-se desidratações, em duplicata, da DO otimizada, utilizando sempre a mesma solução osmótica. Quando necessário, a solução era ajustada em relação à sua concentração e à proporção amostra/solução.

A desidratação osmótica prosseguiu da mesma forma do capítulo anterior, utilizando-se os mesmos parâmetros. Em cada ciclo de desidratação, amostras frescas de yacon eram utilizadas.

Entre cada etapa de desidratação, a solução era armazenada em frasco estéril e mantida sob refrigeração (aproximadamente 10 °C). O tempo de armazenamento entre um uso e outro não excedia 24 horas.

Seguindo trabalhos anteriores sobre reuso de soluções osmóticas (VALDEZ-FRAGOSO; WELTI-CHANES; GIROUX, 1998; GARCÍA-MARTINEZ et al., 2002; ANGELINI, 2002; MORAGA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2011), inicialmente e após cada uso, analisaram-se atividade de água, pH, densidade, turbidez, condutividade elétrica, viscosidade, sólidos solúveis (para ajuste do °Brix) e desenvolvimento microbiológico (coliformes a 35 °C, coliformes a 45 °C, contagem total de mesófilos aeróbios e fungos e leveduras) da solução.

As análises de sólidos solúveis e atividade de água foram feitas como já descrito no capítulo anterior. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os testes de condutividade elétrica, viscosidade, densidade, turbidez, pH e microbiologia na solução osmótica foram executados como descritos a seguir:

- a) condutividade elétrica: leitura direta em condutivímetro TEC-4MP, marca Tecnal;
- b) viscosidade: a viscosidade foi determinada por meio de um reômetro rotacional de cilindros concêntricos da marca Brookfield DVIII Ultra (Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, USA). Utilizou-se o adaptador para pequenas amostras 13R/RP (19,05 mm de diâmetro e 64,77 mm de profundidade) e o sensor de cisalhamento coaxial SC4-18 (17,48 mm de diâmetro e 31,72 mm de comprimento). As amostras foram submetidas a uma mesma velocidade, durante 5 minutos de ensaio, sendo tomadas cinco leituras de cada tratamento. A viscosidade foi expressa em mPa.s;
- c) densidade: determinada com o auxílio de um picnômetro;
- d) turbidez: leitura em espectrofotômetro UV-Visible Spectrophotometer, Varian, Cary 50 probe, a um comprimento de onda de 278 nm;
- e) pH: leitura direta em pHmetro Hanna instruments (modelo HI 98108);
- f) microbiologia: no final de cada ciclo, retiraram-se amostras da solução osmótica para as análises microbiológicas de coliformes a 35 °C, coliformes a 45 °C, contagem total de mesófilos aeróbios e fungos e leveduras, conforme Silva et al. (2007).



As amostras desidratadas foram caracterizadas, após o cada ciclo de reuso da solução em relação aos sólidos solúveis, umidade e a perda de peso, conforme já descrito anteriormente.

#### Análise estatística

No intuito de analisar o efeito da reutilização da solução osmótica na própria solução e na amostra desidratada, utilizou-se a análise de variância (ANOVA). Aplicou-se o teste F para comparar as médias das respostas obtidas em cada uma das reutilizações, a um nível de confiança de 95%. Os dados foram processados com o auxílio do Statistica Versão 8.0 (MAKING THE WORLD MORE PRODUCTIVE, 2008).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para a solução osmótica e a amostra desidratada encontram-se descritos a seguir.

#### Caracterização da solução osmótica

A análise dos dados, por meio do teste F, está representada na Tabela 1, na qual se observa que houve diferença significativa entre as médias com a reutilização da solução osmótica nos parâmetros de turbidez e condutividade elétrica da solução. Isto pode ser confirmado na Figura 1. A turbidez e a condutividade elétrica apresentaram aumento com o reuso da solução. A atividade de água, o pH, viscosidade e a densidade sofreram algumas variações durante o reaproveitamento da solução, no entanto, não de forma significativa.

Tabela 1 ANOVA para as respostas dos atributos da solução osmótica

<b>Atributo</b>	<b>F-calculado</b>	<b>p-valor</b>
Turbidez	27,13	0,000*
Condutividade elétrica	59,62	0,000*
Aw	1,08	0,437
pH	1,28	0,316
Densidade	1,45	0,235
Viscosidade	0,80	0,663

\*indicam diferença significativa,  $p < 0,05$

O aumento da turbidez da solução com o reuso indica o escurecimento desta solução e pode estar relacionado ao arraste para a solução de minúsculos fragmentos e outras partículas insolúveis geradas, principalmente, no corte e presentes na superfície das fatias, favorecendo reações enzimáticas (VALDEZ-

FRAGOSO et al., 2002). Durante o ciclo de repetidas desidratações, a solução acumula impurezas e pequenos fragmentos do produto, visíveis a olho nu.

A solução inicial de sorbitol tem 13,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de condutividade elétrica. Ao longo dos ciclos de desidratação, houve um aumento progressivo nos valores de condutividade elétrica (Gráfico 1), havendo cerca de 200% de aumento após 15 ciclos. Resultado semelhante foi relatado por Peiró et al. (2006) e Germer (2010). Conforme Pieró et al. (2006), a condutividade elétrica da solução depende da concentração do soluto, da temperatura, da composição química da água usada em sua preparação e do tipo e concentração de alguns componentes solúveis que podem estar presentes, provenientes da amostra, em conjunto com a perda de água durante o processo de desidratação. Durante a desidratação osmótica pode ter ocorrido a perda de alguns minerais solúveis da amostra para a solução, o que leva ao aumento da condutividade elétrica. Conforme Lanchman, Fernández e Orsák (2003), o yacon tem quantidades consideráveis de minerais, como o potássio (334 mg/100 g de matéria integral), o fósforo (34 mg/100 g de MI) e o cálcio (12 mg/100 g de MI).

Pieró et al. (2006) comprovaram que há lixiviação de minerais da amostra de “grapefruit” para a solução osmótica.

A viscosidade não sofreu diferença significativa conforme o reuso da solução, o que é justificável pelo fato de esta solução sempre estar ajustada a, aproximadamente, 38 °Brix e estar submetida à mesma temperatura em todos os reuso. Também não houve diferença entre a viscosidade da solução antes da desidratação e depois desta, pois a proporção amostra: solução (25:1) usada foi muito alta. Assim, a perda de água do fruto para a solução não foi expressiva ao ponto de modificar a sua viscosidade. Consequentemente, a densidade da solução também se manteve constante.

A manutenção da concentração de sólidos solúveis na solução também justifica a não variação de sua atividade de água.

O pH da solução sofreu um leve aumento de aproximadamente 7,1, na solução inicial, para 7,3, após o seu 15º ciclo de uso, modificação que não foi significativa estatisticamente, o que indica que a lixiviação, do produto para a solução, de compostos ácidos hidrossolúveis, não foi expressiva. Comparado à porcentagem de carboidratos e minerais, o yacon tem baixa quantidade de ácidos. Conforme Lanchman, Fernández e Orsák (2003) e Ojansivu, Ferreira e Salminen (2011), este tubérculo apresenta cerca de 3 a 13 mg de ácido ascórbico em 100 g de matéria integral. Scher, Rios e Noreña (2009) relataram valores de  $6,09 \pm 0,01$  para o pH e uma acidez titulável de  $1,62 \pm 0,10$  mL por 100 g na matéria integral do yacon.

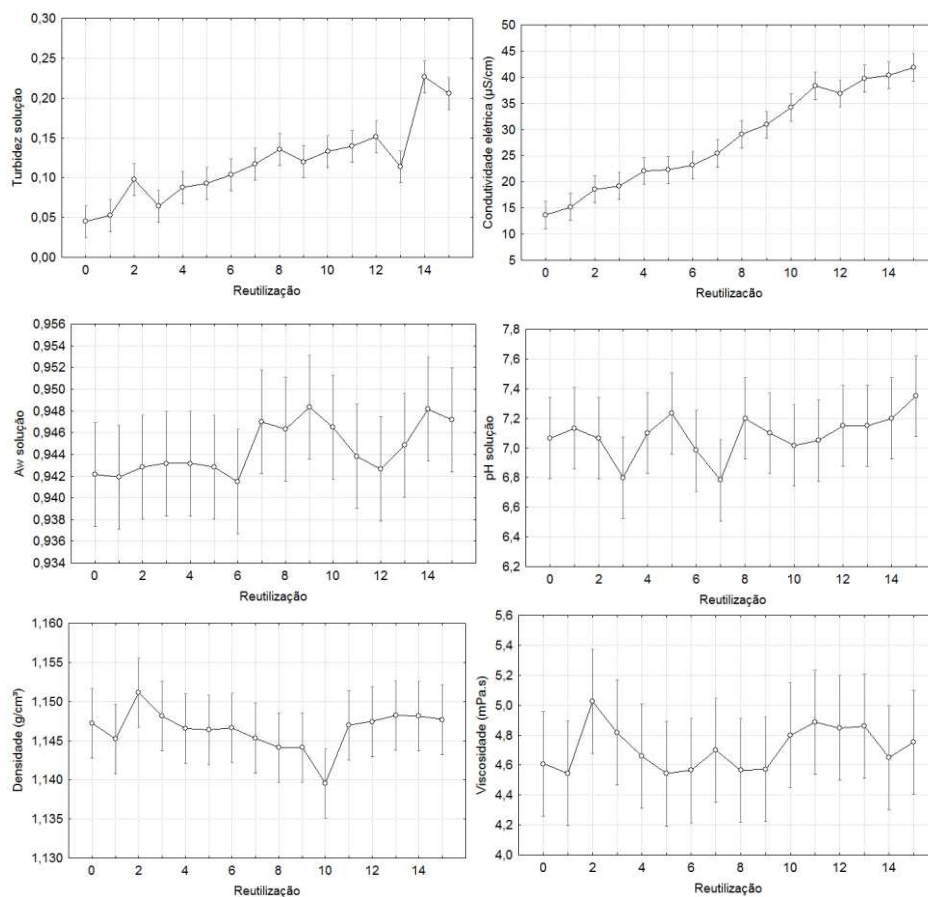


Gráfico 1 Respostas dos parâmetros de turbidez, condutividade elétrica, atividade de água (*Aw*), pH, densidade e viscosidade da solução osmótica no início e em cada reutilização da solução

#### Caracterização do yacon desidratado

Após cada desidratação, analisaram-se a umidade a perda de peso e os sólidos solúveis do yacon desidratado. Por meio do teste F, observou-se que houve diferença significativa entre as médias com a reutilização da solução osmótica apenas para os sólidos solúveis (Tabela 2).

Tabela 2 ANOVA para as respostas dos atributos do yacon desidratado

<b>Atributo</b>	<b>F-calculado</b>	<b>p-valor</b>
Sólidos solúveis (°Brix)	2,79	0,029*
Umidade (%)	2,01	0,096
Perda de peso (%)	1,52	0,215

\*p<0,05 indica amostra significativa, a 5% de significância

As médias da porcentagem de umidade e do °Brix do yacon fresco utilizado neste trabalho são de  $91,25 \pm 1,15$  e  $6,17 \pm 0,60$ , respectivamente. Após a desidratação, como esperado, observaram-se a diminuição da umidade e o aumento da concentração de sólidos solúveis.

Observa-se, pelo Gráfico 2, que, nas três primeiras reutilizações da solução, houve um aumento dos sólidos solúveis do yacon, diminuindo após este ciclo, o que pode estar relacionado com a variabilidade natural deste tipo de matéria-prima (MORAGA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE;2011; PEIRÓ et al., 2006). Moraga, Moraga e Martínez-Navarrete (2011) também observaram a diminuição do °Brix do kiwi, após a sua desidratação na terceira reutilização da solução osmótica em diante.

Aachary e Prapulla (2009) obtiveram 61%-63,2% de umidade final de cenoura DO, independente do número de reuso da solução osmótica de sacarose.

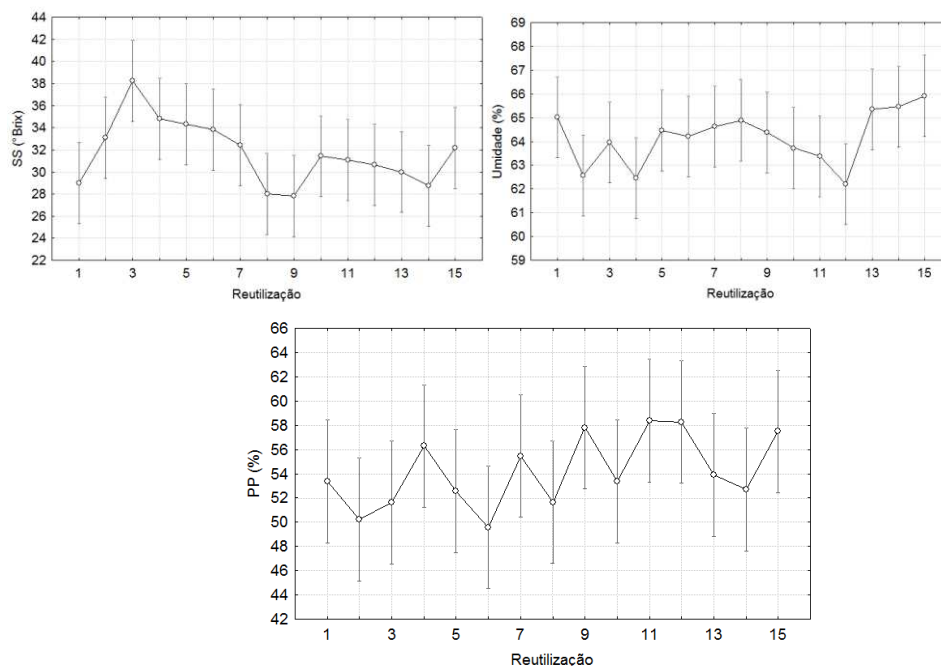


Gráfico 2 Respostas dos parâmetros de sólidos solúveis, umidade e perda de peso das amostras no início e em cada reutilização da solução

Pelos resultados apresentados, pode-se considerar a possibilidade da reutilização da solução por 15 vezes, garantindo a mesma estabilidade do produto final.

#### Análise microbiológica

As análises microbiológicas realizadas em todas as soluções, nos 15 ciclos, apresentaram os seguintes resultados: < 10 UFC/mL (est) para aeróbios mesófilos, fungos e leveduras e < 3,0 NMP/mL para coliformes totais. Estes resultados podem ser considerados negligíveis, uma vez que não oferecem riscos microbiológicos à solução, confirmando, em âmbito microbiológico, a estabilidade desta solução em 15 reutilizações. Resultados semelhantes foram relatados por García-Martinez et al. (2002), os quais reutilizaram a solução

osmótica por 10 vezes na desidratação de kiwi. Argandoña (2005) estabeleceu o valor de  $10^4$  UFC/mL, de bolores e leveduras, como limite máximo para a garantia da qualidade microbiológica da solução osmótica.



#### **4 CONCLUSÃO**

As mudanças na solução osmótica, associadas à sua reutilização em PVOD de yacons sob as condições deste estudo, permitem a sua reutilização por pelo menos 15 ciclos, sem quaisquer problemas associados com contaminação microbiológica considerável.

Com relação aos parâmetros físico-químicos, apenas a turbidez e a condutividade elétrica da solução sofreram modificações significativas ao longo dos ciclos de uso da solução, indicando um escurecimento da solução e lixiviação de minerais da amostra para a solução desidratante.

Foi comprovado o possível reaproveitamento da solução osmótica em mais de uma desidratação.

## REFERÊNCIAS

AACHARY, A. A.; PRAPULLA, S. G. Value addition to spent osmotic sugar solution (SOS) by enzymatic conversion to fructooligosaccharides (FOS), a low calorie prebiotic. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 284-288, Apr. 2009.

ANGELINI, R. **Desidratação osmótica de kiwi (*Actinidia deliciosa* L.): estudo da reutilização da solução osmótica**. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

ARGANDOÑA, E. J. S. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade**. 2005. 172 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

CHAUHAN, O. P. et al. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. **International Journal of Food Properties**, New York, v. 14, n. 5, p. 1037-1048, 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 13, p. 1556-1561, 2011.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 1, p. 84-93, Mar. 2008.

EREN, I.; KAYMAK-ERTEKIN, F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p. 344-352, Mar. 2007.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp., c.v. Gulflaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

FERRARI, C. C. et al. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 436-443, Feb. 2011.

FITO, P. et al. Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods, In: SINGH, P.; OLIVEIRA, F. (Ed.). **Process optimization and minimal processing of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 107-121.

GARCÍA-MARTINEZ, E. et al. Characterisation of reuse osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research International**, Barking, v. 35, n. 2-3, p. 307-313, 2002.

GERMER, S. P. M. **Cultivares, variáveis de processo, reuso do xarope de sacarose e viabilidade econômica da pré-secagem osmótica de pêssegos**. 2010. 162 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

GOES, A. M.; KFURI, C. A. Desenvolvimento e pesquisa de suspensão pediátrica de hidróxido de alumínio. **Revista Científica da Universidade de Franca**, São Paulo, v. 5, n. 1-6, p. 139-144, dez. 2005.

GRAEFE, S. et al. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2-3, p. 157-165, Mar. 2004.

JANGAM, S. V. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. **Drying Technology**, New York, v. 29, n. 12, p. 1343-1357, 2011.

JOKIC, A. et al. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 47-51, Jan. 2007.

KLEWICKI, R.; UCZCIWEK, M. Effect of osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructooligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value. **Agricultural and Food Science**, Jokioinen, v. 17, n. 4, p. 367-375, 2008.

KOTOVICZ, V. et al. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia Sonchifolia*) in fructose solution. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westpot, v. 38, n. 1, p. 58-74, Jan. 2013.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem de yacon (polymnia sanchifolia)**. 2011. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use: a review. **Plant Soil Environmental**, Oxford, v. 49, n. 6, p. 283-290, 2003.

LAGO, C. C. et al. Characterization of powdered yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice and pulp. **Food and Bioprocess Technology**, Amsterdam, v. 5, n. 6, p. 2183- 2191, Aug. 2012.

LI, H. et al. Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 47, n. 5, p. 954-960, Oct. 2012.

LING, H.; BIRCH, J.; LIM, M. The glass transition to determination of drying protocols for colour stability in dehydrated pear slices. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 40, n. 8, p. 921-927, Oct. 2005.

MAKING THE WORLD MORE PRODUCTIVE. **Statsoft**: better decisionig solutions. Washington: SAS Alternative, 2008. Disponível em: <[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>. Acesso em: 13 fev. 2013.

MALDONATO, S. et al. Cinética de la transferencia de massa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 251-256, jan./mar. 2008.

MORAGA, M. J.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effects of the re-use of the osmotic solution on the stability of osmodehydro-refrigerated grapefruit. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 44, n. 1, p. 35-41, Jan. 2011.

MORENO, J. et al. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 4, p. 621-627, June 2011.

MORENO, J. et al. Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of Chilean Papaya (*Carica candamarcensis*). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 69, n. 3, p. 102-106, Apr. 2004.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 22, n. 1, p. 40-46, Jan. 2011.

OZDEMIR, M. et al. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 41, n. 10, p. 2044-2050, Dec. 2008.

PEIRÓ, R. et al. Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 3, p. 299-307, June 2006.

PEREIRA, J. A. R.; BARCELOS, M. F. P.; PEREIRA, M. C. A. Studies of chemical and enzymatic characteristics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food Science and Technology**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 75-83, Mar. 2013.

QUINTERO-CHÁVEZ, R. et al. Modeling of total soluble solid and NaCl uptake during osmotic treatment of bell peppers under different infusion pressures. **Food and Bioprocess Technology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 184-192, Jan. 2012.

RIVA, M. et al. Structure-property relationship in osmo-air-dehydrated apricot cubes. **Food Research International**, Barking, v. 38, n. 5, p.533-542, June 2005.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão, 2005.

RUIZ-LÓPEZ, I. I. et al. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 104, n. 2, p. 218-226, May 2011.

SCHER, C. F.; RIOS, A. de O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **Internacional Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 44, n. 11, p. 2169-2175, Nov. 2009.

SINGH, B. et al. Optimisation of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. **Food Chemistry**, London, v. 123, n. 3, p. 590-600, Dec. 2010.

TAIWO, K. A. et al. Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 6, p. 693-707, Aug. 2003.

TOGRUL, I. T.; ISPIR, A. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 48, n. 10, p. 2611-2621, Oct. 2007.

VENTURA, F. C. **Desenvolvimento de doce de fruta em massa funcional de valor calórico reduzido, pela combinação de goiaba vermelha e yacon desidratados osmoticamente e acerola**. 2004. 207 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

VALDEZ-FRAGOSO, A. et al. Reuse of sucrose syrup in pilot scale osmotic dehydration of apple cubes. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 25, n. 2, p. 125-139, Dec. 2002.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; WELTI-CHANES, J.; GIROUX, F. Properties of a sucrose solution reused in osmotic dehydration of apples. **Drying Technology**, New York, v. 16, n. 7, p. 1429-1445, 1998.

## CAPÍTULO 5

### **Estudo da secagem a vácuo de yacons pré-tratados osmoticamente em solução de sorbitol**

#### **RESUMO**

O yacon é um tubérculo nutritivo, mas de elevada atividade de água. Para ampliar sua vida de prateleira com baixa degradação de suas propriedades nutricionais, a secagem deve ser conduzida em condições brandas, como a secagem a vácuo. Neste trabalho objetivou-se analisar os parâmetros físico-químicos e obter cinética de secagem de yacons *in natura* ou pré-tratados por desidratação osmótica com pulso de vácuo PVOD (300 minutos em solução de sorbitol a 38 °Brix, 35 °C, pulso de vácuo de 74 mmHg, nos 10 primeiros minutos). A secagem de fatias de yacon foi conduzida em estufa convectiva ou a vácuo (75 mmHg), até se atingir o teor de umidade de 12% (b.u). Os experimentos foram conduzidos nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C. Foram testados um modelo difusional e três modelos empíricos (Page, Page modificado e Henderson-Pabis) para a cinética de secagem. Realizou-se análise calorimétrica (Tg), da atividade de água ( $a_w$ ) e do teor de frutanos. O ajuste foi satisfatório para todos os modelos. Adicionalmente, a dependência da temperatura foi testada com o modelo de Arrhenius. Observou-se dependência direta com a temperatura, tanto pelo modelo de Arrhenius como pelos parâmetros de ajuste dos modelos. Como consequência, o tempo final de secagem foi diminuído com o aumento da temperatura. Maiores  $a_w$  e os sólidos ganhos através da desidratação osmótica levaram a um decréscimo da Tg. O uso da DO com a secagem a vácuo levou à maior preservação dos frutanos.

Palavras chave: Cinética de secagem. Modelos matemáticos. Calorimetria.



## 1 INTRODUÇÃO

A secagem é considerada um dos métodos mais eficazes para a conservação de alimentos por longos períodos. A remoção da umidade do material previne o crescimento e a reprodução microbiológica, diminui a ação das enzimas e minimiza diversas reações de deterioração que ocorrem em alimentos com altos valores de atividade de água (WU et al., 2007; CORRÊA et al. 2012; ISQUIERDO et al., 2013).

No entanto, esta técnica pode causar alterações indesejáveis nas características físicas, químicas e nutricionais do produto. A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) e técnicas mais brandas de secagem, como a secagem a vácuo, podem minimizar essas degradações (FANTE et al., 2011; MITRA; SHRIVASTA; RAO, 2011; AN et al., 2013).

A PVOD tem vantagens, como a obtenção de produtos com características sensoriais similares às do produto *in natura* e com elevado valor nutritivo, redução no tempo de tratamentos complementares em altas temperaturas, além de conferir baixas alterações quanto à cor e aumento na retenção dos compostos voláteis (QUILES et al., 2004; RASTOGI; RAGHAVARAO; NIRANJAN, 2005; OSORIO et al., 2007).

Quando comparada à secagem convencional, conduzida em condições atmosféricas, a secagem a vácuo apresenta algumas vantagens, como maiores taxas de secagem, uso de temperaturas mais brandas e diminuição do teor de oxigênio no agente de secagem. Tais vantagens auxiliam na preservação das características iniciais, físicas, químicas e nutricionais no produto seco (WU et al. 2007; MURAMATSU et al., 2012).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar os parâmetros físico-químicos e da cinética de secagem de fatias de yacon. Foram utilizadas

três temperaturas na secagem. Modelos matemáticos empíricos e com base na segunda lei de Fick foram utilizados no ajuste da cinética de secagem.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Após a definição da condição ótima do processo osmótico, desidratação em solução de sorbitol a 38 °Brix, a uma temperatura de 35 °C e aplicação de 74 mmHg, nos 10 primeiros minutos de desidratação de um tempo total de 300 minutos, realizou-se o estudo da secagem a vácuo do yacon pré-tratado osmoticamente.

### Secagem em estufa a vácuo

Imediatamente após a desidratação osmótica, as amostras foram levadas à estufa (modelo SL-104/40, Marca Solab) para secagem a vácuo (75 mmHg) nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C até teor de umidade final igual a 12% (b.u.). Este valor baseou-se na recomendação de teor de umidade máximo para vegetais secos, RDC 272 (AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2005). Algumas amostras foram secas até peso constante, para ajuste das curvas de secagem.

A temperatura máxima de 60 °C foi baseada no trabalho de Scher, Rios e Noreña(2009) que demonstraram que, acima desta temperatura, a hidrólise dos FOS aumenta significativamente.

Durante a secagem, as amostras foram pesadas de 30 em 30 minutos, nas primeiras 2 horas e meia de secagem e de 1 em 1 hora, no período restante, até o teor de umidade final de 12% (b.u.) das amostras. Para a tomada do peso durante a secagem, cessava-se o vácuo e o experimento ficava parado até o término da pesagem (REIS et al., 2012). Considerou-se que todo o peso perdido correspondeu à perda de água. Realizaram-se três repetições para cada experimento.

Os resultados obtidos foram analisados por meio da ANOVA, aplicando-se o teste de Tuckey para análise da diferenciação estatística das médias.

### 2.1.1 Secagem em uma única temperatura

Ao definir a melhor temperatura para secagem a vácuo do yacon desidratado osmoticamente, considerando a temperatura que gera maiores taxas de perda de água por tempo e menores danos físico-químicos e nutricionais ao tubérculo, principalmente em relação ao teor de frutanos, realizaram-se novos experimentos, fixando a temperatura de secagem e variando a utilização ou não de vácuo e o uso ou não de um pré-tratamento (Tabela 1), no intuito de observar a interferência da desidratação osmótica e do vácuo.

Tabela 1 Delineamento experimental para os ensaios de secagem de yacon

Ensaio	Variáveis	
	Vácuo (mmHg)	Pré-tratamento
1	75	IN
2	75	DO
3	0	IN
4	0	DO

IN corresponde ao tubérculo *in natura* e DO ao tubérculo desidratado osmoticamente

Com o delineamento experimental fatorial 2 x 2 (Tabela 1), inteiramente casualizado, sendo 2 aplicações de pressão (sem aplicação e uma pressão de 75 mmHg) e 2 pré-tratamentos (sem pré-tratamento e DO), os dados foram analisados por ANOVA. Para cada ensaio foram realizadas três repetições.

### Cinética de secagem e difusividade efetiva

A segunda lei de Fick (Equação 1) da difusão foi utilizada para interpretar o processo de secagem. Neste modelo, a variável dependente é a taxa de teor de água (MR) que correlaciona o gradiente de teor de água da amostra em tempo real ( $X_t$ ) com os teores de água inicial ( $X_0$ ) e do equilíbrio ( $X_e$ ) (Equação 2).

$$\frac{\partial MR}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 MR}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

em que  $D_{eff}$  é a difusividade efetiva ( $m^2 s^{-1}$ ),  $t$  é o tempo de secagem (s) e  $z$  é a coordenada espacial (m).

O teor de água do equilíbrio foi obtido experimentalmente.

A solução de série infinita da segunda lei de difusão de Fick, que foi desenvolvida para partículas com geometria de placas, leva em consideração movimento unidimensional da água, volume constante, distribuição uniforme da umidade inicial e difusividade e temperatura constantes (WUet al., 2007; CORRÊA et al., 2012) (Equação 3).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad (3)$$

em que  $n$  é o número de termos,  $t$  é o tempo de secagem (s) e  $L$  é a espessura da placa (m).

A difusividade efetiva de água pode ser correlacionada com a temperatura por meio da relação de Arrhenius (Equação 4) (WU et al., 2007; AH-HEN; ZAMBRA; AGÜERO,2013). A energia de ativação foi calculada plotando-se o logaritmo natural de  $D_{eff}$  ( $\ln D_{eff}$ ) *versus* o inverso da temperatura absoluta ( $1/T$ ).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

em que  $D_0$  é o fator pré-exponencial da equação de Arrhenius ( $m^2 s^{-1}$ ),  $E_a$  é a energia de ativação para a difusão da água ( $J mol^{-1}$ ),  $R$  é a constante universal dos gases ( $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$ ) e  $T$  é a temperatura absoluta (K).

#### Modelos empíricos de cinética de secagem

Além do modelo difusivo de Fick, testaram-se os modelos empíricos exponenciais para o ajuste das cinéticas de secagem: modelo de Page (PAGE, 1949) (Equação 5), modelo de Page modificado (Equação 6) e modelo de Henderson-Pabis (HENDERSON; PABIS, 1961) (Equação 7). Estes modelos são, geralmente, empregados para representar curvas de cinética em estufa a vácuo (REIS et al., 2012; JENA; DAS, 2007).

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (5)$$

$$MR = \exp[(-kt)^n] \quad (6)$$

$$MR = a \exp(-kt) \quad (7)$$

em que  $k$ ,  $a$  e  $n$  são os parâmetros de ajuste do modelo.

O programa Origin 6.1 foi utilizado para o ajuste dos modelos. Para a determinação do melhor ajuste, levaram-se em consideração o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e o erro padrão (SE), calculado conforme equação 8.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{OBS}-\text{PRED})^2}{n}} \quad (8)$$

em que OBS corresponde ao valor de MR observado e PRED é o valor predito de MR. O termo n corresponde ao número de observações.

#### Caracterização da amostra seca

As análises de qualidade testadas após os experimentos de secagem foram atividade de água e teor de frutanos, conforme descrito no capítulo 2 e análise calorimétrica, conforme descrito a seguir.

- a) Calorimetria diferencial de varredura (DSC): a temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , dos yacons secos foi determinada por meio do calorímetro DSC modelo TA 60 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). O limite de detecção do aparelho é de 0,3 W. Aproximadamente 4-6 mg de amostra foram colocados em uma cápsula de alumínio, que foi hermeticamente fechada. Uma cápsula vazia foi utilizada como referência. Dependendo do teor de umidade inicial, as amostras foram resfriadas até  $-80\text{ }^\circ\text{C}$ , a uma taxa de  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ , e aquecidas de  $-80$  até  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , a uma taxa de  $10\text{ }^\circ\text{C}$  por minuto, conforme Deng e Zhao (2008).

Os dados foram analisados com o auxílio do software Statistica Versão 8.0 (MAKING THE WORLD MORE PRODUCTIVE, 2008).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a secagem dos yacons pré-tratados osmoticamente são descritos a seguir.

#### Cinética de secagem a vácuo e difusividade efetiva

Os yacons frescos apresentavam teor de umidade  $90,84 \pm 0,71\%$  em b.u. e, depois de desidratados osmoticamente, possuíam, em média, teor de umidade de  $61,73 \pm 0,18\%$  (b.u.). Esta última condição corresponde ao teor de umidade inicial da secagem a vácuo.

As curvas de cinética de secagem do yacon, com seus ajustes ao modelo de Fick, são apresentados no Gráfico 1 e o coeficiente de difusividade calculado por meio da Equação 3, na Tabela 2. Observa-se, na Tabela 2, que, com o aumento da temperatura, há aumento do coeficiente de difusividade e que o modelo difusional apresentou ajuste satisfatório da cinética de secagem com  $R^2$  maior que 0,97 e erro padrão de até 0,14. Como consequência do aumento do coeficiente de difusão, o tempo de secagem diminui com o aumento da temperatura. Com o aumento da temperatura, a umidade relativa do ar é diminuída e, internamente, aumenta a agitação das moléculas, aumentando-se a taxa de secagem, conseqüentemente diminuindo-se o tempo total de secagem (AKGUN; DOYMAZ, 2005; JENA; DAS, 2007; WUet al., 2007; AH-HEN; ZAMBRA; AGÜERO, 2013). A umidade relativa do ar de secagem é inferior em temperaturas mais elevadas do que em baixas temperaturas e, assim, a diferença da pressão parcial entre a parede do fruto e seus arredores é maior para o ambiente a altas temperaturas, levando a uma maior taxa de transferência de massa (AH-HEN; ZAMBRA; AGÜERO, 2013).



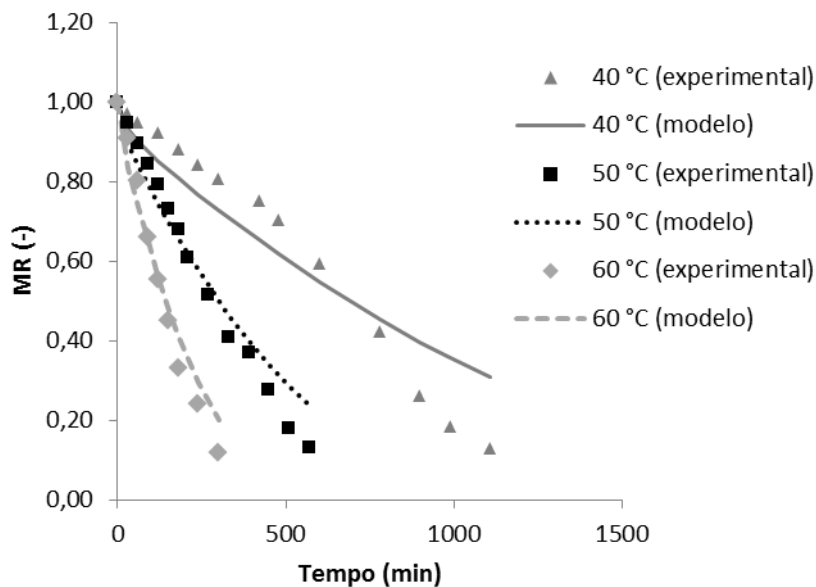


Gráfico 1 Cinética de secagem de yacon em estufa a vácuo a diferentes temperaturas e ajuste ao modelo de Fick

Tabela 2 Coeficiente de difusividade para yacons DO secos em estufa a vácuo

T (°C)	$D_{\text{eff}} \times 10^8$ (m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	SE
40	0,63	0,97	0,14
50	1,47	0,99	0,09
60	3,07	0,99	0,07

A dependência da difusividade efetiva com relação à temperatura foi verificada pela equação de Arrhenius (Equação 9).

$$D_{\text{eff}} = 1736,97 \exp\left(-\frac{8245,40}{T}\right) \quad (9)$$

A equação apresentou um bom ajuste a Lei Arrhenius, com R<sup>2</sup> de 0,99, chegando ao valor de 68,55 KJ/mol para a energia de ativação. A energia de

ativação pode ser interpretada como a barreira de energia que deve ser superada a fim de ativar a difusão de água. O elevado valor da  $E_a$  e do  $R^2$  evidencia o efeito da temperatura na taxa de secagem.

O valor de energia de ativação encontrado foi superior ao reportado por Ah-Hen, Zambra e Agüero (2013), em secagem a vácuo de murta (34,30 KJ/mol).

### **3.1.1 Cinética de secagem e difusividade efetiva em secagem à 60°C**

Como a secagem em estufa a vácuo a 60 °C foi a que levou à perda de água em um menor tempo, analisou-se o efeito da aplicação do pré-tratamento (DO) e do uso de vácuo na secagem a 60 °C.

No Gráfico 2 estão representadas as cinéticas obtidas com a secagem a 60 °C dos diferentes tratamentos e seus respectivos ajustes ao modelo de Fick. Por meio dos dados obtidos calculou-se o coeficiente de difusão (Tabela 3).

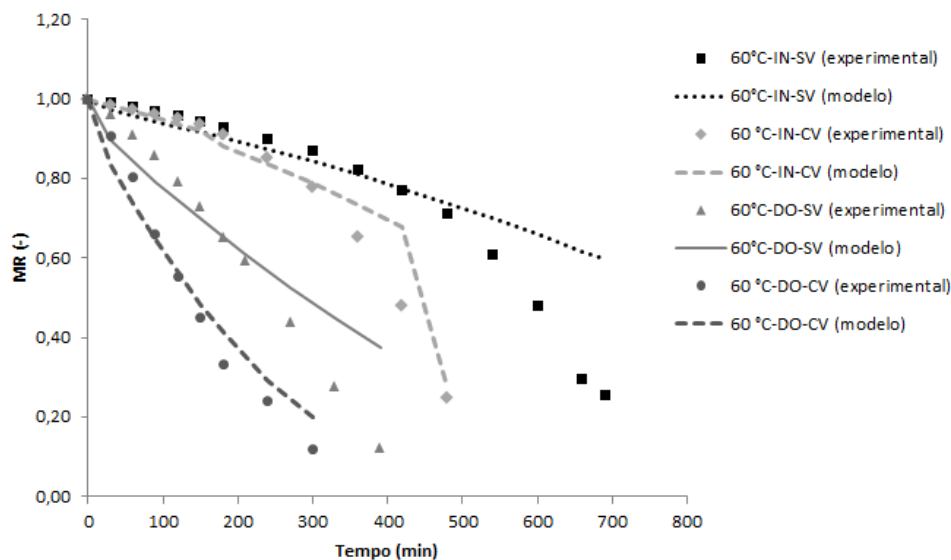


Gráfico 2 Cinética de secagem e ajuste ao modelo da Fick de yacon a 60 °C, em diferentes condições, em que IN corresponde ao tubérculo *in natura* e DO, ao desidratado osmoticamente, seco em estufa com vácuo (CV) ou sem vácuo (SV)

Tabela 3 Coeficiente de difusividade para yacons secos em estufa a 60°C

Tratamento	$D_{\text{eff}} \times 10^8 \text{ (m}^2/\text{s)}$	$R^2$	SE
DO – CV	3,07	0,99	0,07
DO – SV	1,66	0,96	0,15
IN – CV	1,53	0,98	0,92
IN – SV	1,04	0,97	0,75

IN corresponde ao tubérculo *in natura* e DO, ao desidratado osmoticamente, seco em estufa com vácuo (CV) ou sem vácuo (SV)

Ao secar o yacon *in natura* não foi possível chegar à umidade final de 12%, pois o produto atingiu o ponto de equilíbrio a uma umidade de aproximadamente  $21 \pm 2\%$ .

Tanto pela cinética de secagem (Gráfico 2) como pelo coeficiente de difusividade (Tabela 3), observa-se que a secagem a vácuo, em uma mesma temperatura, leva a maiores coeficientes de difusão e uma maior perda de água

em um menor intervalo de tempo. O mesmo foi observado por Ah-Hen, Zambra e Agüero(2013), Wu et al. (2007) e Arévalo-Pinedo e Murr (2006). A aplicação de vácuo promove a expansão dos poros do produto. Esta estrutura expandida oferece uma grande área de contato para a transferência de calor e massa, facilitando, assim, o transporte de água, com consequente aumento da velocidade de secagem e da difusividade de água (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2006).

As amostras pré-tratadas osmoticamente obtiveram um melhor ajuste ao modelo de Fick, apresentando menores erros padrões (Tabela 3) e melhor ajuste da curva com os pontos experimentais (Gráfico 2).

Pelos dados da Tabela 3 é possível observar o efeito do pré-tratamento na difusividade de água. Amostras desidratadas osmoticamente e secas a 60 °C, em condições de processos iguais, apresentaram maiores valores de difusividade de água. Resultado semelhante foi encontrado por Arévalo-Pinedo e Murr (2006), ao compararem a secagem a vácuo, a 60 °C, de abóboras *in natura*, descongeladas e branqueadas.

#### Modelos empíricos de cinética de secagem

Os três modelos empíricos dados pelas Equações 5 a 7 (Page, Page modificado e Henderson-Pabis) apresentaram um bom ajuste, gerando elevados coeficientes de correlação e baixo desvio padrão para as três temperaturas de trabalho (Tabela 4).

Nos Gráficos 3, 4 e 5 mostram-se os dados experimentais de cinética de secagem e as curvas obtidas com o uso dos modelos, para as temperaturas em estufa a vácuo de 40 °C , 50 °C e 60 °C, respectivamente.

Para todas as temperaturas observa-se que o modelo de Page foi o que obteve melhor ajuste, apresentando valores de R<sup>2</sup> mais altos e menores valores

de SE. Os parâmetros a, K e n também estão próximos aos encontrados por Reis et al. (2012).

A constante de secagem k representa a cinética de secagem nos primeiros instantes e indica o valor teórico da velocidade de secagem neste período (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2011). Observa-se que, para todos os modelos, a elevação da temperatura leva ao aumento de k, indicando que maiores velocidades iniciais de secagem são conseguidas em temperaturas mais elevadas. Os três modelos testados costumam apresentar bons ajustes aos dados de cinética de secagem de produtos biológicos (REIS et al., 2012) e, dentre estes, o modelo de Page (AKGUN; DOYMAZ, 2005).

Tabela 4 Modelos matemáticos ajustados para o yacon DO seco em estufa a vácuo

Modelo	Parâmetros de ajuste			R <sup>2</sup>	SE
	K	N	A		
<b>40 °C</b>					
Page	3,23 x 10 <sup>-8</sup>	1,61	-	0,98	0,0028
Page modificado	1,30 x 10 <sup>-4</sup>	0,17	-	0,91	0,014
Henderson-Pabis	2,00 x 10 <sup>-5</sup>	-	1,10	0,92	0,012
<b>50 °C</b>					
Page	1,70 x 10 <sup>-6</sup>	1,33	-	0,99	0,0005
Page modificado	1,50 x 10 <sup>-4</sup>	0,30	-	0,97	0,0042
Henderson-Pabis	5,00 x 10 <sup>-5</sup>	-	1,078	0,98	0,0029
<b>60 °C</b>					
Page	4,30 x 10 <sup>-6</sup>	1,33	-	0,99	0,0002
Page modificado	2,80 x 10 <sup>-4</sup>	0,33	-	0,98	0,003
Henderson-Pabis	1,00 x 10 <sup>-4</sup>	-	1,07	0,98	0,0002

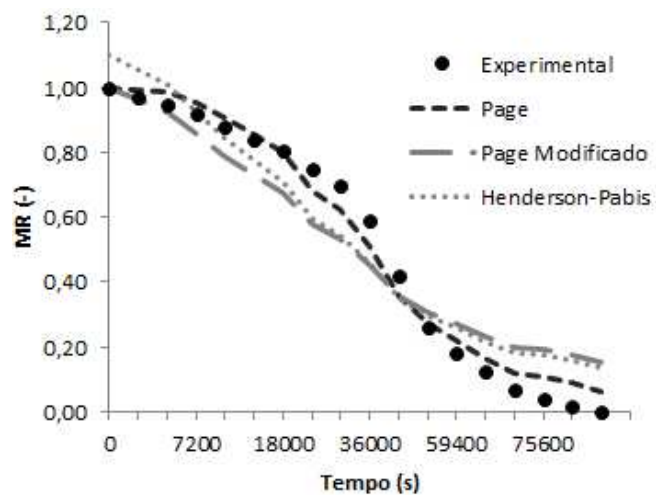


Gráfico 3 Cinética de secagem a vácuo (75 mmHg, 40 °C) de yacon pré-tratado osmoticamente

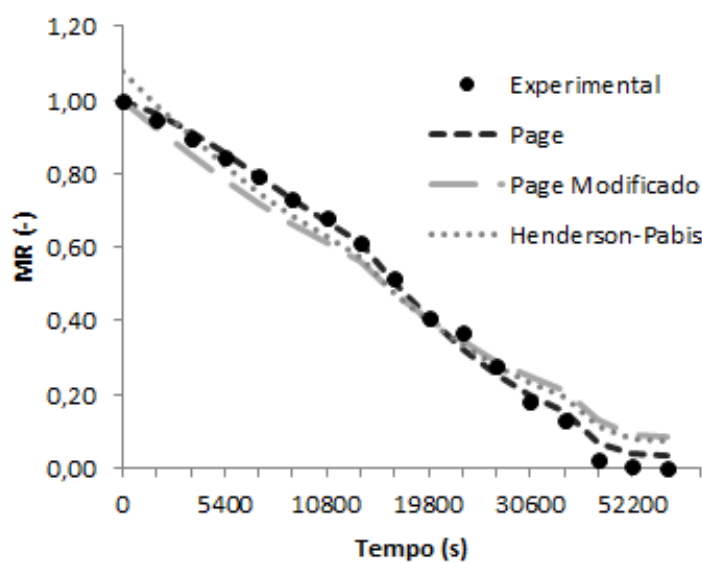


Gráfico 4 Cinética de secagem a vácuo (75mmHg, 50 °C) de yacon pré-tratado osmoticamente

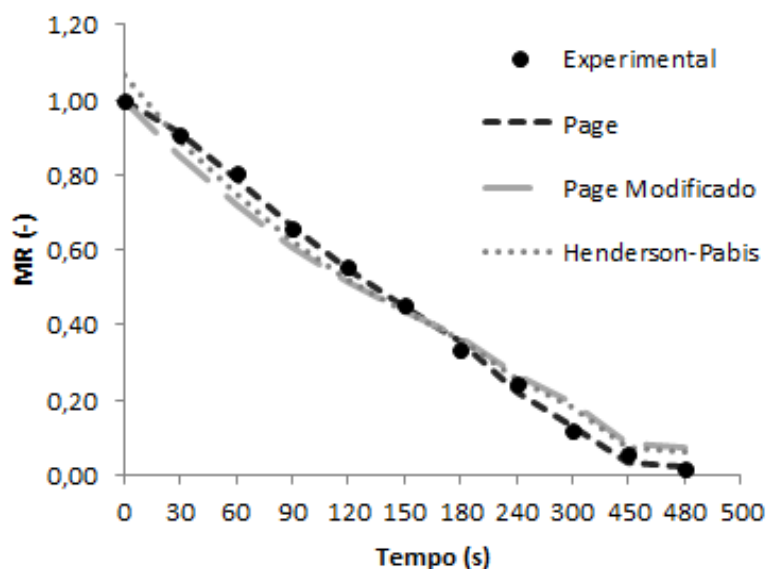


Gráfico 5 Cinética de secagem a vácuo (75 mmHg, 60 °C) de yacon pré-tratado osmoticamente

### 3.1.2 Modelos empíricos de cinética de secagem em secagem a 60°C

Para secagem em estufa a 60 °C, o modelo empírico de Page apresentou um bom ajuste, gerando elevados coeficientes de correlação e baixo desvio padrão para todos os tratamentos analisados. Já os modelos de Page modificado e Henderson-Pabis apresentaram valores mais baixos do coeficiente de correlação para as amostras que não sofreram pré-tratamentos (*in natura*) (Tabela 5).

Como observado anteriormente, para secagem em diferentes temperaturas, o modelo de Page foi o que apresentou maiores coeficientes de correlação e menores desvios padrões.

Pela análise da constante K, observa-se que, para as amostras *in natura*, a secagem com ou sem vácuo não interfere significativamente na velocidade de secagem inicial.

Ao desidrar osmoticamente à amostra, a sua velocidade inicial de secagem passa a ser dependente do modo de secagem, estufa convectiva ou com vácuo, tendo as amostras secas em estufa com vácuo apresentado maiores velocidades iniciais de secagem. Isso está de acordo com o obtido pela análise do coeficiente de difusividade. Ao comparar o coeficiente destas duas amostras, DO e secas em estufa convectiva e DO e secas em estufa a vácuo, observaram-se maiores taxas de perdas de água para as amostras secas a vácuo.

Os Gráficos 6, 7 e 8 mostram os dados experimentais de cinética de secagem e as curvas obtidas com o uso dos modelos.

Tabela 5 Modelos matemáticos ajustados para o yacon DO seco em estufa a vácuo

Modelo	Parâmetros de ajuste				
	K	N	A	R <sup>2</sup>	SE
<b>DO – SV</b>					
Page	$6,29 \times 10^{-8}$	1,70	-	0,99	0,026
Page modificado	$7,00 \times 10^{-4}$	0,07	-	0,89	0,088
Henderson-Pabis	$6,00 \times 10^{-5}$	-	1,10	0,92	0,075
<b>IN – CV</b>					
Page	$1,40 \times 10^{-11}$	2,44	-	0,96	0,041
Page modificado	$4,70 \times 10^{-4}$	0,05	-	0,73	0,117
Henderson-Pabis	$3,00 \times 10^{-5}$	-	1,10	0,79	0,102
<b>IN – SV</b>					
Page	$3,96 \times 10^{-11}$	2,26	-	0,96	0,052
Page modificado	$4,30 \times 10^{-4}$	0,04	-	0,77	0,126
Henderson-Pabis	$2,00 \times 10^{-5}$	-	1,11	0,82	0,112

IN corresponde ao tubérculo *in natura* e DO ao desidratado osmoticamente, seco em estufa com vácuo (CV) ou sem vácuo (SV)



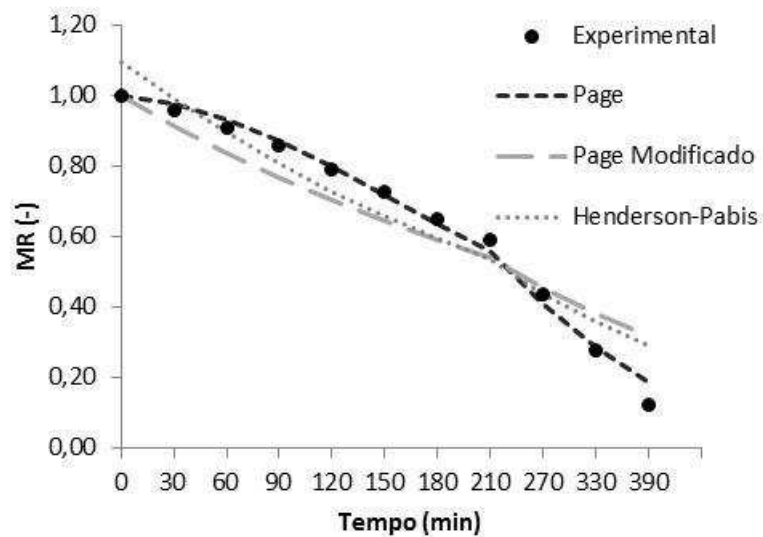


Gráfico 6 Cinética de secagem do yacon DO seco em estufa a 60 °C

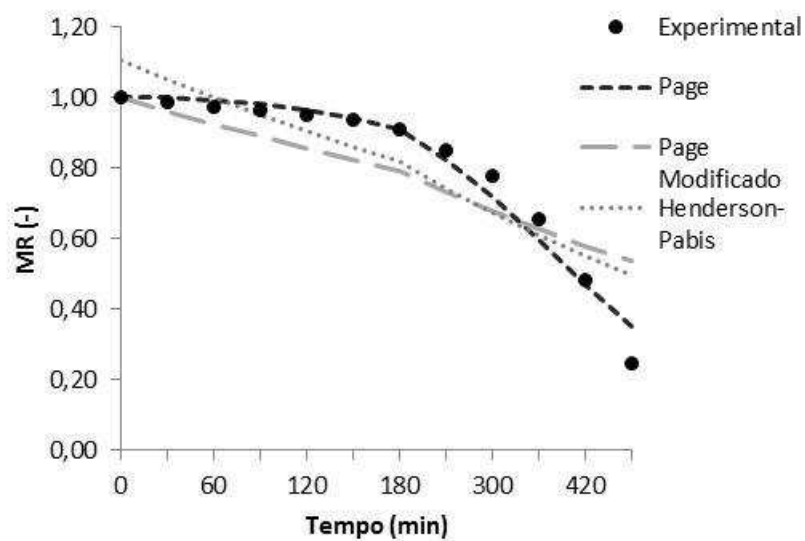


Gráfico 7 Cinética de secagem do yacon *in natura* seco em estufa a vácuo a 60 °C

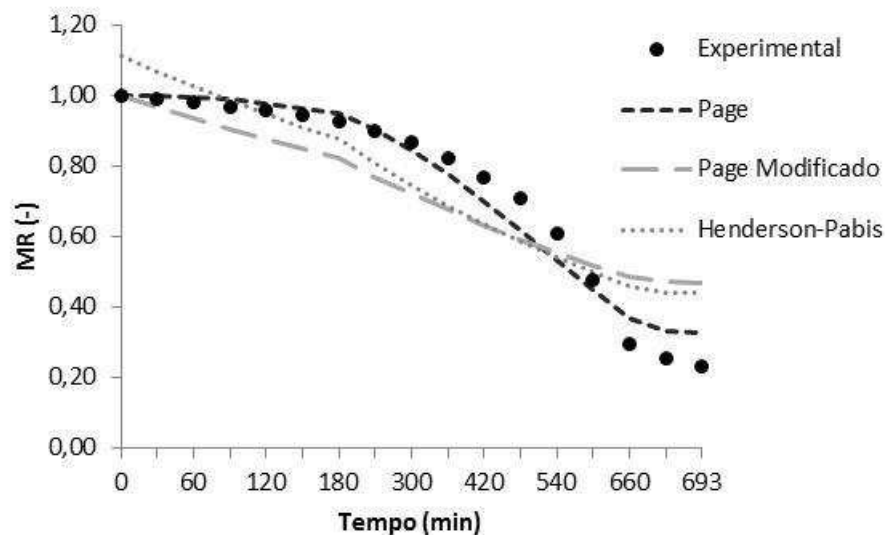


Gráfico 8 Cinética de secagem do yacon *in natura* seco em estufa a 60 °C

#### Teor de frutanos

A média do teor de frutanos das amostras pré-tratadas osmoticamente e secas em estufa a vácuo e a sua retenção de sólido encontram-se na Tabela 6. Observa-se que houve perdas de frutanos durante a secagem, sendo esta perda mais expressiva a baixas temperaturas, o que pode ser justificado pelo tempo de secagem. A exposição do yacon por um período maior em temperatura elevada pode ter levado à degradação dos frutanos. Scher, Rios e Noreña (2009) observaram o decréscimo do teor de inulina e o aumento do teor de frutose e glicose após a secagem de yacons em estufa, a 50 °C, 60 °C e 70 °C, indicando a ocorrência de hidrólise.

Graefe et al. (2004) observaram que o armazenamento de yacons por 6 dias, ao sol, acarretou um decréscimo da concentração de FOS de 50%-62% para 29%-44%, em base seca (b.s.).

O teor de frutanos encontrado neste trabalho foi superior ao relatado por Scher, Rios e Noreña (2009), 5,84% em b.s., em yacons secos em estufa convectiva a 60 °C, por 5 horas.

Tabela 6 Teor de frutanos de yacons DO e secos em estufa a vácuo

Temperatura (°C)	Teor de frutanos (% em b.s.)	Retenção de frutanos (%)
40	8,16±1,08	12,62
50	16,57±0,10	25,61
60	24,40±0,32	37,72

### 3.1.3 Teor de frutanos de yacons secos a 60°C

Na Tabela 7 encontram-se as médias do teor de frutanos das amostras secas em estufa a 60°C, a retenção dos frutanos no produto seco e o valor de F-calculado, obtido pela ANOVA. Observa-se que houve uma diferença significativa para as médias dos teores de frutanos. Conforme dados da Tabela 8, o pré-tratamento e a interação do pré-tratamento, com o uso ou não do vácuo, influenciaram significativamente no teor final de frutanos.

Tabela 7 Teor de frutanos de yacons secos a 60°C

Ensaio (°C)	Teor de frutanos (% em b.u.)	Retenção de frutanos (%)
DO – CV (A)	24,40 <sup>a</sup>	37,72
DO – SV (B)	12,96 <sup>c</sup>	20,03
IN – SV (D)	23,39 <sup>b</sup>	34,17
IN – CV (C)	10,89 <sup>d</sup>	16,84
F-calculado	227,94*	

\*significativo ( $p < 0,05$ ); médias com letras diferentes na coluna diferem entre si ( $p < 0,05$ ), pelo teste de Tuckey. IN corresponde ao tubérculo *in natura* e DO, ao desidratado osmoticamente, seco em estufa com vácuo (CV) ou sem vácuo (SV)

Tabela 8 ANOVA para análise do teor de frutanos de yacons secos a 60 °C

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Pré-tratamento	1	19,83	19,83	63,25	0,0014
PV	1	0,13	0,13	0,43	0,5498
Pré-tratamento x PV	1	194,46	194,46	620,16	0,0000
Erro	4	1,25	0,31		
Total	7	215,69			
CV (%)		3,77			
Média geral		14,84			

O desdobramento do uso ou não do vácuo dentro de cada nível do pré-tratamento mostrou que quando se utiliza DO, há diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para o teor de frutanos das duas secagens (com ou sem vácuo), sendo o uso de vácuo o que gera maiores teores de frutanos; quando se utiliza IN, há diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para o teor de frutanos das duas secagens (com ou sem vácuo), sendo o uso de vácuo o que gera menores teores de frutanos.

A amostra que apresentou maior teor de frutanos foi a pré-tratada osmoticamente e seca em estufa a vácuo a 60 °C, comprovando a eficácia do pré-tratamento e o uso de secagem mais brandas, como a secagem a vácuo, para a conservação dos frutanos. No entanto, nos parâmetros estudados, ambos devem ser utilizados juntos.

#### Atividade de água e temperatura de transição vítrea

Na Tabela 9 estão representados os valores de transição vítrea ( $T_g$ ) e atividade de água de cada tratamento; no Gráfico 9 estão representados os termogramas dos tratamentos. A  $T_g$  está intimamente relacionada com a atividade de água e os componentes do material (ZOU et al., 2013). Observa-se que as amostras que sofreram o mesmo pré-tratamento e foram secas em estufa a vácuo a diferentes temperaturas, 40 °C, 50 °C e 60 °C, obtiveram valores próximos de atividade de água e, conseqüentemente, valores próximos de  $T_g$ . A

amostra DO e seca em estufa sem vácuo sofreu uma menor perda de água, apresentando valores mais elevados de atividade de água com consequente diminuição da Tg. A água reduz a Tg devido ao seu efeito plastificante (ZOU et al., 2013; CONTRERAS et al., 2005).

As amostras secas pré-tratadas osmoticamente apresentaram valores mais baixos de Tg, quando comparado às amostras *in natura*, evidenciando a influência do agente osmótico. Solutos de baixa massa molecular como o sorbitol exibem uma baixa Tg, devido à sua mobilidade molecular elevada (ZOU et al., 2013; JAYA; DAS, 2009). Resultado semelhante foi relatado por Zou et al. (2013); Deng e Zhao (2008); Contreras et al. (2005).

Não foi observada a influência da temperatura na Tg, assim como relatado por Contreras et al. (2005), em secagem de maçãs.

Tabela 9 Temperatura de transição vítrea (Tg) e atividade yacon de yacons secos

Ensaio	Tg (°C)	Aw
DO - CV; T = 40 °C	-37,47	0,47±0,07
DO - CV; T = 50 °C	-34,04	0,45±0,03
DO - CV; T = 60 °C	-36,09	0,47±0,06
DO - SV; T = 60 °C	-44,76	0,68±0,03
IN - CV; T = 60 °C	-24,19	0,65±0,10
IN - SV; T = 60 °C	-14,93	0,57±0,04

IN corresponde ao tubérculo *in natura* e DO ao desidratado osmoticamente, seco em estufa com vácuo (CV) ou sem vácuo (SV), a uma determinada temperatura (T)

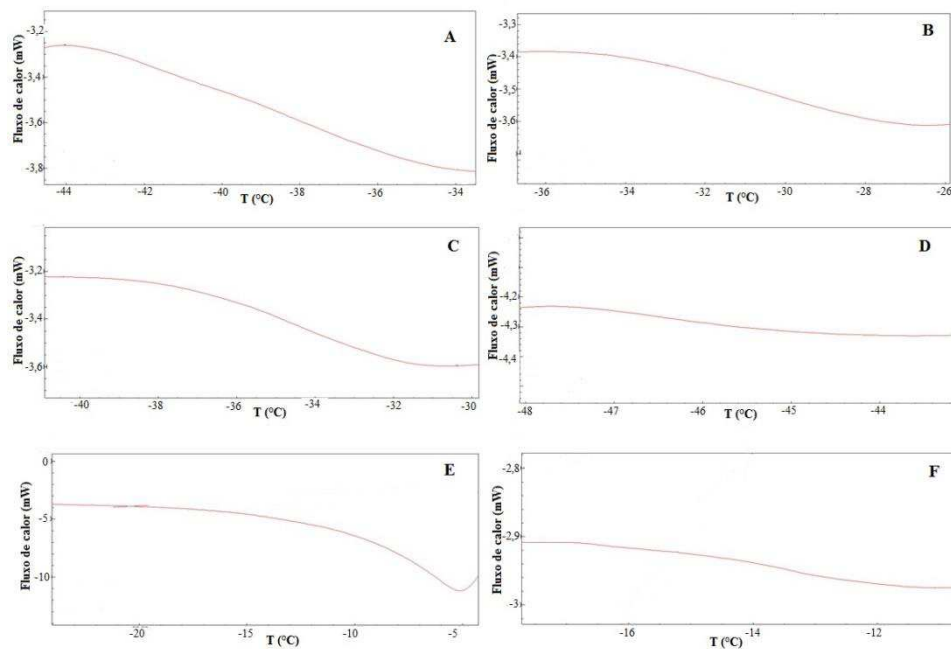


Gráfico 9 Transição vítrea analisada por DSC em yacons DO e secos em estufas a vácuo, à temperatura de 40 °C (A), 50 °C (B) e 60 °C (C) e yacons DO e secos em estufa convectiva, a 60 °C (D), *in natura*, seco em estufa com vácuo (E) ou convectiva (F) a 60 °C

#### 4 CONCLUSÃO

A cinética de secagem a vácuo de yacon pré-tratado osmoticamente apresentou um bom ajuste, tanto pelo modelo difusivo como pelos modelos empíricos de Page, Page modificado e Henderson-Pabis.

Dentre os modelos empíricos, o modelo de Page foi o que apresentou maior coeficiente de correlação e menor erro padrão. O melhor ajuste foi observado a 60 °C.

A temperatura apresentou influência significativa na taxa de secagem, sendo que, menores temperaturas levam ao aumento do tempo de secagem.

A dependência da difusividade efetiva da água à temperatura foi comprovada com o bom ajuste da Equação de Arrhenius.

O pré-tratamento de desidratação osmótica provoca alterações na Tg do yacon seco, diminuindo a Tg.

A desidratação osmótica em conjunto com a secagem em estufa a vácuo a 60 °C se mostrou mais efetiva na conservação dos frutanos, quando comparada ao não uso do pré-tratamento e à secagem em estufa convectiva.

## REFERÊNCIAS

- AH-HEN, K.; ZAMBRA, C. E.; AGÜERO, J. E. Moisture diffusivity coefficient and convective drying modelling of murta (*Ugni molinae* Turcz): influence of temperature and vacuum on drying kinetics. **Food Bioprocess Technology**, Oxford, v. 6, p. 919-930, 2013.
- AKGUN, N. A.; DOYMAZ, I. Modeling of olive cake thin-layer drying process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 68, n. 4, p. 455-461, June 2005.
- AN, K. J. et al. Effect of osmotic dehydration with pulsed vacuum on hot-air drying kinetics and quality attributes of cherry tomatoes. **Drying Technology**, New York, v. 31, n. 6, p. 698-706, 2013.
- AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RDC Nº. 272. Aprova o "REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE VEGETAIS, PRODUTOS DE FRUTAS E COGUMELOS COMESTÍVEIS". **Diário Oficial da União**, Brasília, 23set. 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2013.
- ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): modeling with shrinkage. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 76, n. 4, p. 562-567, Oct. 2006.
- CALÍN-SÁNCHEZ, A. et al. Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 103, n. 3, p. 219-227, Mar. 2011.
- CONTRERAS, C. et al. Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes which occurred during air-drying of apple. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 38, n. 5, p. 471-477, Aug. 2005.



CORRÊA, J. L. G. et al. The influence of ethanol on the convective drying of unripe, ripe, and overripe bananas. **Drying Technology**, New York, v. 30, n. 8, p. 817-826, 2012.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). **Food Science and Technology**, Chicago, v. 41, n. 9, p. 1575-1585, Nov. 2008.

FANTE, C. et al. Drying of plums (*Prunus* sp. c.v. Gulflaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 46, n. 5, p. 1080-1085, May 2011.

GARCÍA-MARTINEZ, E. et al. Characterisation of reuse osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research International**, Barking, v. 35, n. 2-3, p. 307-313, 2002.

GERMER, S. P. M. **Cultivares, variáveis de processo, reuso do xarope de sacarose e viabilidade econômica da pré-secagem osmótica de pêssegos**. 2010. 162 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

GRAEFE, S. et al. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2-3, p. 157-165, Mar. 2004.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the Asabe**, Saint Joseph, v. 56, n. 3, p. 1003-1010, 2013.

JAYA, S.; DAS, H. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. **Food Bioprocess Technology**, Oxford, v. 2, n. 1, p. 89-95, Mar. 2009.

JENA, S.; DAS, H. Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p. 92-99, Mar. 2007.

MAKING THE WORLD MORE PRODUCTIVE. Statsoft: better decisionig solutions. Washington: SAS Alternative, 2013. Disponível em:<[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)>. Acesso em: 13 fev. 2013.

MITRA, J.; SHRIVASTA, S. L.; RAO, P. S. Process optimisation of vacuum drying of onion slices. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 29, n. 6, p. 586-594, 2011.

MURAMATSU, Y. et al. Hot air drying and vacuum drying characteristics of scarlet runner beans. **International Journal of Food Engineering**, New York, v. 8, n. 3, p. 239-339, July 2012.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 22, n. 1, p. 40-46, Jan. 2011.

OSORIO, C. et al. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 353-359, Sept. 2007.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. 1949. 103 p. Thesis (Physical doctor) - Purdue University, Indiana.

PEIRÓ, R. et al. Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 3, p. 299-307, June 2006.

QUILES, A. et al. The effect of calcium and cellular permeabilization on the structure of the parenchyma of osmotic dehydrated 'Granny Smith' apple. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 13, p.1765-1770, Oct. 2004.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Developments in osmotic dehydration. In: SUN, D. W. (Ed.) **Emerging technologies for food processing**. London: Academic Press, 2005. p. 221-250.

REIS, F. R. et al. Vacuum drying kinetics of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and the effect of process conditions on fractal dimension and rehydration capacity. **Drying Technology**, New York, v. 30, n. 1, p. 13-19, 2012.

SCHER, C. F.; RIOS, A. de O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **Internacional Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 44, n. 11, p. 2169-2175, Nov. 2009.

ZOU, K. et al. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. **Food Science and Technology**, Chicago, v. 51, n. 1, p. 253-259, Apr. 2013.

WU, L. et al. Vacuum drying characteristics of eggplants. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 83, n. 3, p. 422-429, Dec. 2007.

YAN, Z.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; OLIVIERA, F. A. R. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 84, n. 3, p. 430-440, Feb. 2008.