

OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE VÁCUO DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*) EM SOLUÇÃO DE SORBITOL

L. F. OLIVEIRA¹, M.B. VILELA² e J.L.G. CORRÊA²

¹ Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Centro Oeste Dona Lindu

² Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos

E-mail para contato: letferol@yahoo.com.br

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi otimizar a PVOD de fatias de yacon com relação à temperatura (T, 24 a 44 °C), pressão do pulso de vácuo (PV, 49,4 a 220,6 mmHg) e concentração da solução osmótica de sorbitol (CS, 22 a 60,8 °Brix) através de um delineamento composto central rotacional com relação às variáveis resposta perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), atividade de água (a_w), cor e teor de frutanos. Após 300 minutos de DO, a PA foi de até 73,03 % e a retenção de frutanos de 28,13 a 82,03 %. Maiores CS e T levaram a maiores PP, PA e GS. O aumento da CS e da PV acarretou menor a_w e o aumento de T, maior escurecimento. Estabeleceu-se, como ponto ótimo, a PVOD com T igual a 35 °C, CS, 38 °Brix e aplicação de 74 mmHg de PV nos 10 primeiros min.

1. INTRODUÇÃO

O yacon se diferencia dos demais tubérculos por conter como carboidrato reserva fruto-oligossacarídeos (FOS) em vez do amido, sendo considerado um alimento prebiótico com poder bifidogênico. Aos FOS são atribuídos alguns benefícios à saúde, como controle do diabetes e da obesidade (Graefe *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2013).

O consumo do yacon costuma ser do produto fresco. Porém, como observado em outros trabalhos (Maldonato *et al.*, 2008; Lago *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 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 desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVDO) 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 e Uczciwek, 2008; Corrêa *et al.*, 2011; Fante *et al.*, 2011; Vieira *et al.*, 2014).

Este trabalho objetivou otimizar a PVOD de yacons com relação a perda de água (PA), perda de peso (PP), ganho de sólidos (GS), atividade de água (a_w), cor e teor de frutanos, levando em consideração a temperatura, a intensidade do pulso de vácuo e a concentração da solução desidratante

de sorbitol.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o preparo da matéria-prima o tubérculo foi lavado em água corrente e sanitizado em hipoclorito de sódio (200 mg.L^{-1} / 15 min) para posterior descascamento e cortes em tamanhos homogêneos (2,0 cm largura x 2,0 cm comprimento x 0,5 cm espessura).

As fatias de yacon foram acondicionadas em estojos de aço inox e estes foram imersos em solução osmótica de sorbitol (na razão de 25:1, peso solução:peso tubérculo) no interior do desidratador osmótico, equipamento projetado para trabalhar tanto à pressão atmosférica quanto com uso de vácuo (Vieira *et al.*, 2014). Após 300 min as amostras foram retiradas do desidratador, lavadas em água mineral gelada e seca em papel absorvente, para cessar o processo de DO e remover do excesso de solução desidratante.

Para a otimização do processo de PVOD do yacon, definiu-se um planejamento experimental baseado na Metodologia de Superfície de Resposta (Rodrigues e 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 e as variáveis independentes utilizados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores utilizados no DCCR para PVOD de yacon em solução de sorbitol

Variável	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Temperatura, T (°C)	24	28	34	40	44
Concentração da solução osmótica, CS (°Brix)	22	30	41,5	53	60,8
Pressão de vácuo, PV (mmHg)	49,4	80	125	170	200,6

As variáveis dependentes analisadas foram: perda de peso (PP), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), teor de água, teor de frutanos, cor e atividade de água (a_w). Para determinação da PP, PA e GS, antes e após o processamento osmótico, as amostras foram pesadas em balança analítica e determinou-se o teor de água, para o cálculo foram utilizadas as Equações 1 a 3. O teor de água foi determinado conforme AOAC (2007). O teor de frutanos foi determinado por método enzimático (AOAC, 2005). Atividade de água foi determinada com o auxílio do equipamento Aqualab CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA).

$$PP(\%) = \frac{(P_0 - P_t)}{P_0} \times 100 \quad (1)$$

$$PA(\%) = \frac{(P_0 X_0) - (P_t X_t)}{P_0} \times 100 \quad (2)$$

$$GS(\%) = \frac{(S_t - S_0)}{P_0} \times 100 \quad (3)$$

em que P, X e S correspondem ao peso, teor de água e peso de sólidos (matéria seca) da amostra e os subscritos $_0$ e $_t$ indicam o tempo inicial e um determinado tempo t, respectivamente.

Determinou-se os parâmetros de cor a^* , b^* e L , com colorímetro Minolta CR 400 (Osaka, Japan), para cálculo da variável croma (C) e o diferencial de cor (ΔE), conforme Equações 4 e 5.

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

O tratamento dos dados experimentais foi realizado com o auxílio do software Statistica 8.0 (Statistica, 2008). Para a predição da melhor condição optou-se por gerar os modelos completos, 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

3.1 Análises físico-químicas

As amostras apresentaram valores de 48,27 a 56,31 para o parâmetro L^* , 10,45 a 14,66 para croma (C) e 7,01 a 14,73 para ΔE , com uma retenção de frutanos (RF) de 28,13 a 82,03%, gerando os coeficientes de regressão representados na Tabela 2. Para a obtenção dos valores de retenção de frutanos considerou-se o teor de frutanos de cada ensaio, na matéria seca, desconsiderando o ganho de sólidos que a amostra obteve durante o processamento.

Tabela 2 - Estimativa dos coeficientes de regressão e p-valor para L^* , C, ΔE e RF

Fator	L^* ($R^2=0,77$)		C ($R^2=0,75$)		ΔE ($R^2=0,71$)		RF ($R^2=0,92$)	
	CR	p-valor	CR	p-valor	CR	p-valor	C.R.	p-valor
Média	51,01	0,00*	13,07	0,00*	10,76	0,00*	53,52	0,00*
T (L)	-1,41	0,02*	-0,25	0,35	-1,20	0,03*	0,07	0,97
T (Q)	0,02	0,96	-0,33	0,24	-0,11	0,83	-0,63	0,72
C.S. (L)	-0,05	0,92	0,94	0,01*	0,45	0,36	-13,47	0,00*
C.S. (Q)	0,09	0,86	-0,25	0,37	-0,05	0,92	2,32	0,21
PV (L)	0,31	0,53	-0,56	0,06	0,02	0,97	-5,03	0,02*
PV (Q)	1,11	0,05	0,07	0,80	1,01	0,07	-3,82	0,05
T x CS	-0,20	0,75	-0,16	0,64	-0,35	0,59	3,81	0,11
T x PV	1,14	0,10	-0,33	0,35	0,77	0,25	-2,87	0,22
CS x PV	-1,81	0,02*	0,20	0,55	-1,40	0,05	3,70	0,12

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

Conforme Tabela 2, L^* variou significativamente com a temperatura e a interação CS x PV; C obteve influência da concentração da solução e ΔE , da temperatura.

O aumento da temperatura leva à diminuição da viscosidade da solução osmótica com consequente elevação da difusividade da solução para a amostra e o aumento da penetração da solução causa um escurecimento na amostra, abaixamento de L^* (Ling *et al.*, 2005). O aumento da C.S também facilitou a penetração do soluto na amostra causando o aumento do parâmetro C.

Pode-se prever que ocorrem menores alterações na cor do produto em menores concentrações da solução e em temperaturas mais elevadas.

Para o teor de frutanos a CS e o PV influenciaram significativamente, sendo que menores CS e PV levam a maiores RF. O aumento da CS e da intensidade do PV pode ocasionar maiores degradações e alterações na estrutura celular do tubérculo, com consequente 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).

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 FOS durante a DO 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. Scher *et al.* (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.

A partir dos resultados experimentais, analisou-se o ajuste das regressões por meio do teste F (Tabela 3). As respostas para os parâmetros de cor não obtiveram um bom ajuste à regressão, a 95% de confiança, diferentemente do ocorrido com a RF, gerando as superfícies de resposta (Figura 1).

Tabela 3 Análise de variância da regressão para as respostas L^* , C, ΔE e RF

Regressão	L^*	C	ΔE	RF	PP	PA	GS	a_w
Fcal	2,99	2,73	2,14	10,44	14,92	73,18	10,28	128,41
p-valor	0,07	0,09	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

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

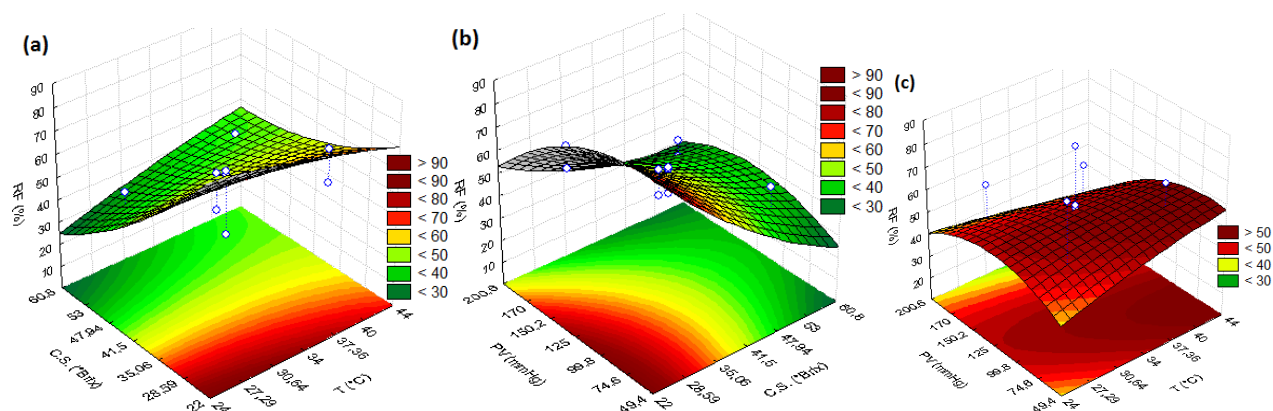


Figura 1 - Superfícies de resposta da retenção de frutanos

Observa-se que as maiores RF são alcançadas em PVOD em solução com concentrações de sorbitol entre 22 a 38 °Brix, associadas com baixos valores de PV, até, aproximadamente, 100 mmHg, em temperaturas entre 28 a 35 °C (Figura 1).

3.2 Perda de peso, perda de água, ganho de sólidos e atividade de água

Após PVOD as amostras obtiveram expressivas PP (40,76 a 61,80 %) e PA (49,54 a 73,03 %), com um GS de 3,64 a 13,06 % e a_w de 0,89 a 0,97. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente e os coeficientes de regressão encontram-se sumarizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa do p-valor (p) e coeficientes de regressão (CR) para PP, PA, GS e a_w

Fator	PP ($R^2=0,94$)		PA ($R^2=0,99$)		GS ($R^2=0,92$)		a_w ($R^2=0,99$)	
	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	$3,5 \times 10^{-5}$ *	0,28	0,34	$-4,1 \times 10^{-4}$	0,63
T (Q)	-2,22	0,01*	-2,66	$4,4 \times 10^{-5}$ *	0,73	0,03*	$-6,8 \times 10^{-4}$	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	$-2,5 \times 10^{-3}$	0,02*
PV (Q)	-0,39	0,55	-0,26	0,46	-0,09	0,76	$-8,0 \times 10^{-4}$	0,37
T x CS	0,02	0,98	0,09	0,83	-0,67	0,10	$-5,0 \times 10^{-4}$	0,65
T x PV	0,63	0,45	1,23	0,02*	0,39	0,31	$-1,6 \times 10^{-3}$	0,17
CSxPV	0,08	0,93	-1,11	0,03*	0,72	0,08	$-1,4 \times 10^{-3}$	0,22

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

Observa-se que a C.S foi estatisticamente significativa, sendo que maiores concentrações levam a maiores PP, PA, GS e menores a_w (Tabela 4). A temperatura foi significativa na PA, PP e GS. Maiores temperaturas levam a maiores PP, PA e GS. 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.

Maiores intensidades de vácuo levam à menor a_w . A a_w está diretamente relacionada com a PA, ou seja, expressivas PA induzem à diminuição da a_w . As interações do PV com a CS e com a T também foram significativas para a PA, em que maiores PV associados com maiores T levam a uma maior PA. Já a combinação de baixo PV com baixa CS gera às menores PA.

Conforme Tabela 3 as respostas PP, PA, GS e a_w apresentaram um bom ajuste à regressão, gerando as Figuras 2, 3, 4, e 5.

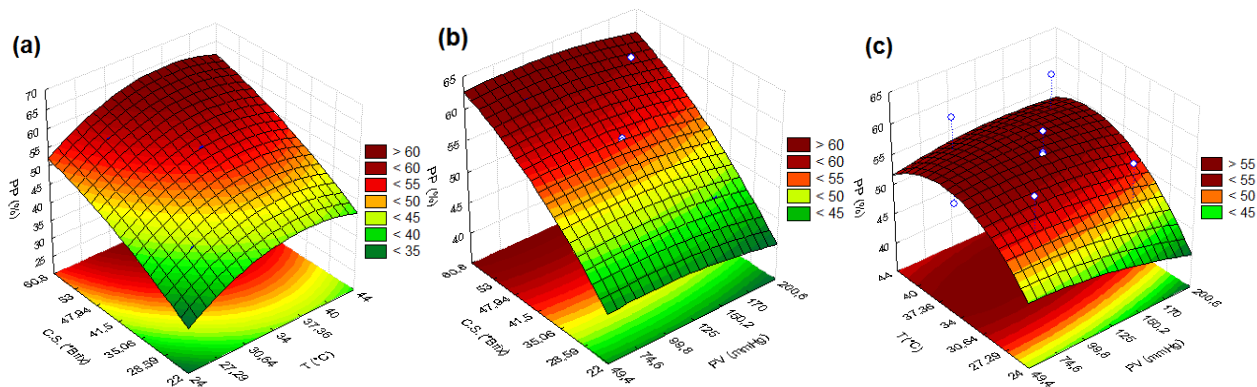


Figura 2 - Superfície de resposta para a PP

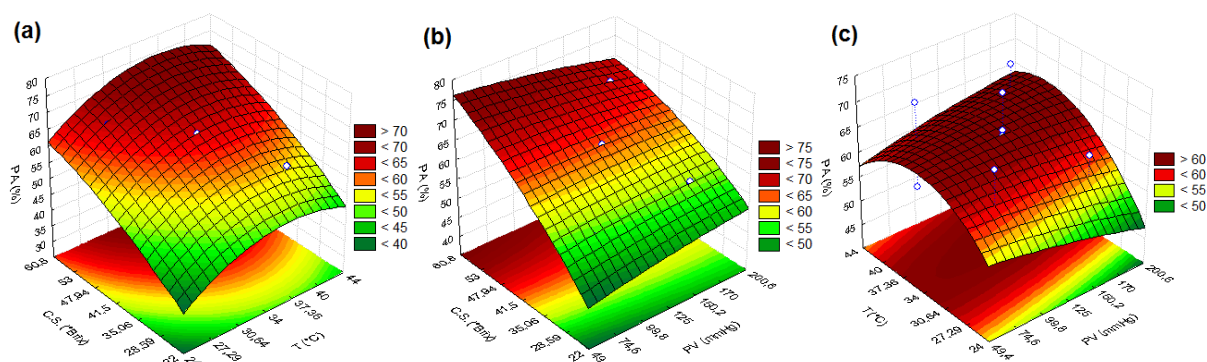


Figura 3 - Superfície de resposta para a PA

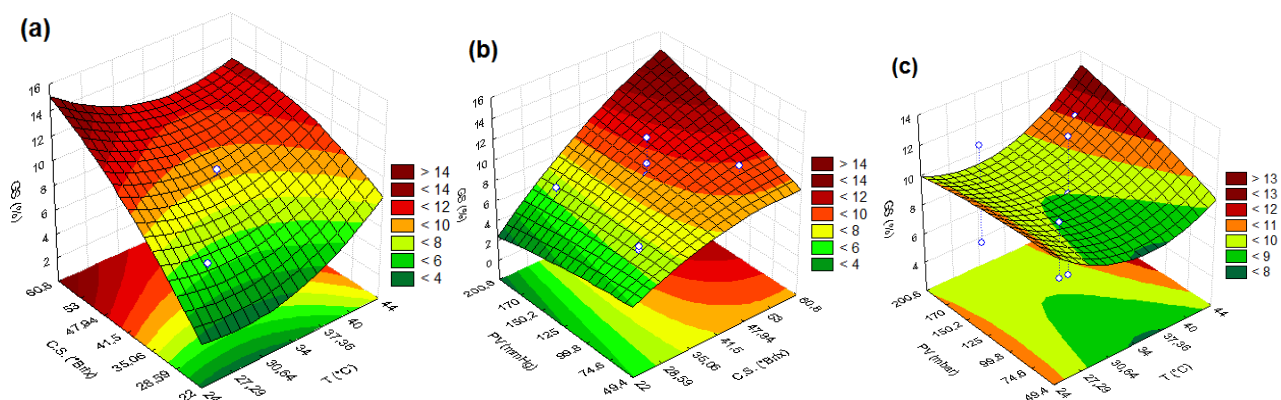


Figura 4 - Superfície de resposta para o GS

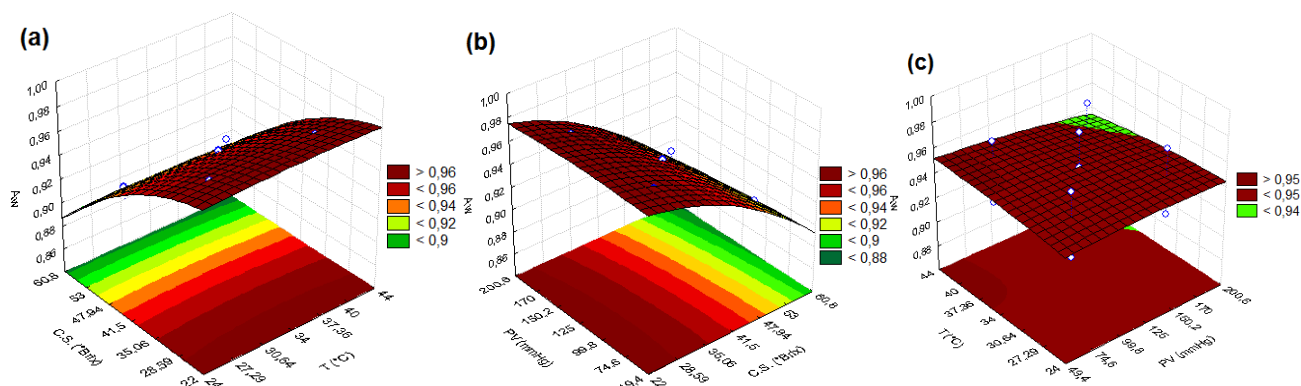


Figura 5 - Superfície de resposta para a a_w

Levando-se em consideração todas as observações analisadas e com a finalidade de obter um ponto ótimo considerou-se as faixas que geram maiores teores de frutanos e, com o auxílio das Figuras 2, 3, 4 e 5, estabeleceram-se faixas ótimas para a PA (T, 30 a 38 °C; CS, 47 a 60 °Brix; PV, 74 a 200 mmHg), PP (T, 34 a 40 °C; CS, 47 a 60 °Brix; PV, 49 a 190 mmHg), GS (T, 28 a 35 °C; CS, 22 a 38 °Brix; PV, 49 a 68 mmHg) e a_w (T, 37 a 44 °C; CS, 55 a 60 °Brix; PV, 170 a 200 mmHg), que geram amostras com maior PP e PA, menor GS e a_w .

Como o objetivo é priorizar a maior RF, 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 a_w . Para a concentração da solução, o valor de 38 °Brix, pelo fato de maiores PA, PP e a_w serem encontrados em maiores concentrações de sorbitol e a concentração de 38 °Brix é a maior concentração que possibilita maiores RF; para o pulso de vácuo, estabeleceu-se uma intensidade de 74 mmHg, por se enquadrar nas faixas ótimas de frutanos, PA, PP e a_w 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 com seus respectivos intervalos de confiança foram: $60,25 \pm 7,23\%$, $53,73 \pm 2,13$, $61,39 \pm 1,14$, $7,85 \pm 0,98$ e $0,957 \pm 0,003$ para a RF, PP, PA, GS e a_w , respectivamente. encontram-se sumarizados na Tabela 22.

4. CONCLUSÃO

A solução de sorbitol se mostrou um bom agente desidratante, levando a expressivas perdas de peso e de água. Maiores concentrações da solução e temperatura levaram a maiores PA, PP e GS. Menores concentrações de solução levaram a maiores teores de frutanos. Nas condições analisadas neste trabalho, pode-se estabelecer como faixa ótima a PVOD em solução de sorbitol a 38 °Brix, a 35 °C e com 74 mmHg de pulso de vácuo.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of*

- Association of official Analytical Chemists International. 18. ed. New York: AOAC Int., 2007.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists International*. 17. ed. Gainstherburg: Horwitz, 2005.
- CORRÊA, J. L. G.; DEV, S. R. S.; GARIEPY, Y.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. *Dry. Technol.*, v. 29, p. 1556-1561, 2011.
- FANTE, C.; CORRÊA, J.; NATIVIDADE, M.; LIMA, J.; LIMA, L. Drying of plums (*Prunus* sp. c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v. 46, p. 1080-1085, 2011.
- FERRARI, C. C.; ARBALLO, J.R.; MASCHERONI, R.H.; HUBINGER, M.D. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v. 46, p. 436-443, 2011.
- GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crop. Res.*, v. 86, p. 157-165, 2004.
- 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. *Agr. Food Sci.*, v. 17, p. 367-375, 2008.
- LAGO, C. C.; BERNSTEIN, A.; BRANDELLI, A.; NOREÑA, C. Z. Characterization of powdered yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice and pulp. *Food Bioproc. Technol.*, v. 5, p. 2183-2191, 2012.
- MALDONATO, S.; SANTAPAOLA, J.E.; SINGH, M.; TORREZ, M.; GARAY, A. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Cienc. Tec. Alim.*, v. 28, p. 251-256, 2008.
- PEREIRA, J. A. R.; BARCELOS, M. F. P.; PEREIRA, M. C. A. Studies of chemical and enzymatic characteristics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food Sci. Technol.*, v. 33, p. 75-83, 2013.
- RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. *Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos*. Campinas: Casa do Pão, 2005.
- VIANA, A. D.; CORRÊA, J. L. G.; JUSTUS, A. Optimisation of the pulsed vacuum osmotic dehydration of cladodes of fodder palm. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v. 49, p. 726-732, 2014.
- SCHER, C. F.; RIOS, A. de O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v. 44, p. 2169-2175, 2009.
- STATISTICA 8.0. Statsoft: better decisionig solutions. Washington: SAS Alternative, 2008. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 13 fev. 2013.