



## **CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE BATATA YACON PRÉ-TRATADAS COM SOLUÇÃO OSMÓTICA DE ISOMALTULOSE**

LAÍS G. BIANCHETTI<sup>1</sup>, JEFFERSON LUIZ.G. CORRÊA<sup>1</sup>, JULIANA R. DO CARMO<sup>1</sup>, PAULA G. SILVEIRA<sup>1</sup>, GUILHERME M. LOPES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos  
ESAL- Escola de Ciências Agrárias de Lavras

<sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
\*e-mail: laisbianchetti22@gmail.com.br

**RESUMO** – Yacon é um alimento prebiótico, rico em fibras insolúveis e em compostos fenólicos, tem como principal carboidrato de reserva os frutooligossacarídeos, os quais tem sido recomendado em dietas para pessoas propensas ao diabetes. Porém, quando destinado ao consumo deve ser consumido ou processado rapidamente, por ser altamente perecível devido ao seu alto teor de umidade. O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem convectiva de fatias de yacon, avaliando as influências da temperatura e do uso da desidratação osmótica (DO) no tempo de secagem. A desidratação osmótica foi realizada com solução de isomaltulose a 25% a 25°C por 300 min. Foi testada a temperatura de secagem de 70°C e velocidade do ar constante de 1,5m/s. Foram realizados ajustes dos dados experimentais à modelos semi-teóricos. Dentre os modelos estudados, o modelo de Page apresentou melhores resultados segundo os critérios estatísticos aqui empregados ( $R^2$ ), portanto, considerado como o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais para as condições de DO.

### **INTRODUÇÃO**

A busca por um estilo de vida mais saudável tem levado as pessoas cada vez mais a consumirem alimentos com características funcionais, que contribuem no tratamento e prevenção de diversas doenças. A batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é um tubérculo originário da região andina da América do Sul, e apresenta propriedades benéficas devido à sua ação prebiótica e minimizadora dos picos glicêmicos, e por conter carboidratos de reserva como os frutooligossacarídeos (FOS) (Mendonça, 2014). Existem alguns benefícios ao se consumir o yacon, como a melhora do funcionamento intestinal, retenção de baixo valor energético, controle glicêmico, aumento da imunidade, redução da pressão arterial e de níveis do colesterol (Sacramento *et al.*, 2017).

A batata yacon possui uma alta atividade de água, e o desenvolvimento de técnicas de processamento com o intuito de aumentar a sua vida útil é importante para disponibilizar a raiz

o ano todo, superando sua alta perecibilidade. A secagem é um método comum de conservação de alimentos (Silva e Corrêa, 2005; Corrêa *et al.*, 2016). A secagem convectiva é a técnica de secagem mais comum e foi previamente estudada para raízes de yacon por vários autores (De Lisboa *et al.*, 2018; Oliveira, Corrêa, Silveira, Vilela, & De Jesus Junqueira, 2021; Reis *et al.*, 2021). A secagem por convecção é um processo de secagem no qual o material recebe calor do fluxo de ar. O aumento da temperatura do material está relacionado com a diferença entre o fluxo de ar e a superfície do material. A secagem convectiva apresenta vantagens como o controle da temperatura de secagem, porém, o problema é que quando a secagem atinge uma baixa quantidade de umidade no material, a taxa de umidade começa a diminuir e o restante do tempo de secagem pode ser longo (Salinas *et al.*, 2018). Existem algumas desvantagens na secagem convectiva de yacon, como por exemplo, a degradação de compostos fenólicos que podem ser aumentadas com a temperatura e exposição ao

oxigênio, diminuição do conteúdo prebiótico, nutricional e sensorial (Lenart e Dabrowska, 1999).

A desidratação osmótica (DO) é um pré-tratamento à secagem que pode auxiliar na preservação das características físicas, químicas e nutricionais dos produtos desidratados em relação aos frescos (Fante *et al.* 2011 ; Ferrari *et al.* 2011 ; CORRÊA *et al.* 2011 ; Corrêa *et al.* 2014 ; Vieira *et al.* 2012 ) e poderia melhorar o processo de secagem da batata yacon (De Mendonça *et al.*, 2016 ).

A DO é considerada uma operação unitária de transferência de massa entre o alimento e a solução osmótica onde o alimento está imerso. Nesse processo, os dois principais fluxos são o ganho de sólido e a perda de água (González-Pérez *et al.*, 2021; Ramya & Jain, 2017). O processo de DO é uma função do gradiente do potencial químico entre o produto e a solução osmótica. Quanto maior a diferença de atividade de água entre a solução e o alimento, maior a desidratação (Mendonça *et al.*, 2017 ). O uso comum de açúcares na fase de DO leva a uma melhora na propriedade cariogênica dos produtos finais, bem como um aumento no seu índice glicêmico, podendo também estar associado a diversas doenças (diabetes, obesidade, etc.). Felizmente, existem outros novos adoçantes disponíveis no mercado que não são cariogênicos e também apresentam outras vantagens em relação aos açúcares ou adoçantes convencionais, como a isomaltulose ou comercialmente conhecida como palatinose (Goyal *et al.* , 2010).

A isomaltulose é um dissacarídeo redutor naturalmente presente no mel e no caldo de cana, mas em quantidade muito pequena. Também pode ser produzido por um processo enzimático a partir da sacarose. A isomaltulose possui baixo índice glicêmico, pois a liberação de monossacarídeos pela isomaltulose ocorre de forma lenta, devido à sua dificuldade de ser hidrolisada por enzimas gastrointestinais (Lina *et al.*, 2002 ; Sawale *et al.*, 2017 ; Shyam *et al.*, 2018 ). A impregnação com isomaltulose é uma estratégia interessante para promover o enriquecimento do yacon, pois há uma grande demanda dos consumidores por alimentos saudáveis e

funcionais, devido à crescente preocupação com a saúde e o bem-estar.

O objetivo do trabalho foi avaliar a cinética de secagem das fatias de yacon pré-tratadas com solução de isomaltulose, utilizando a desidratação osmótica como pré-tratamento à secagem convectiva em túnel de vento.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foram adquiridas no mercado local (Lavras, Minas Gerais, Brasil). Os tubérculos foram lavados, descascados manualmente e cortados em fatias de 2,00 × 2,00 × 0,50 cm (comprimento x largura x espessura) com o auxílio de uma forma e uma faca de aço inoxidável (Figura 1). Após o corte, as fatias foram embebidas por 3 min em solução de ácido cítrico 1% (p/v) para evitar o escurecimento enzimático (Mendonça *et al.*, 2017 ). O yacon fresco apresentou teor médio de umidade de 90,83 ± 3,28% (base úmida) e atividade de água ( $a_w$ ) de 0,985 ± 0,001.



Figura 1: Molde utilizado para cortar as amostras de yacon.

### Preparo da solução osmótica

A solução osmótica de 25% foi preparada com água destilada, à 25°C, e isomaltulose PST-N (Beneo, Alemanha). Posteriormente, a solução foi deixada em repouso em uma câmara termostática (Eletrolab EL111/4, São Paulo, Brasil) para sua estabilização (solução límpida e sem partículas suspensas) e para equilíbrio com a temperatura de trabalho. As amostras foram acondicionadas em potes de vidros

contendo solução osmótica de isomaltulose na proporção de yacon e massa de 1:10 (w/w). A desidratação osmótica foi realizada a temperatura de 25°C, com tempo total de 300 min. Estas condições foram otimizadas baseadas em trabalho anterior (Oliveira, 2013), por proporcionarem maior retenção de frutanos.

### Condições experimentais

Tabela 1: Modelos matemáticos usados para ajustes da cinética de secagem de fatias de yacon pré-tratadas com solução osmótica de isomaltulose

Código	Modelo	Equação	Referência
1	Henderson-Pabis	$RU = a \exp(-kt)$	Panchariya et al. (2002) ; Shi et ai. (2013) (2)
2	Logarítimo	$RU = ae^{(-kt)} + c$	(Doymaz, 2007) (3)
3	Page	$RU = e^{(-kt^n)}$	(Page, 1949) (4)
4	Wang & Singh	$RU = 1 + at + bt^2$	(Wang & Singh, 1978) (5)

As amostras de yacon foram divididas em dois conjuntos. Em um deles, foi aplicado o tratamento osmótico anteriormente a secagem e o outro foi submetido à secagem sem pré-tratamento (*in natura*).

A secagem das amostras foi realizada num secador convectivo a 70°C e velocidade constante de 1,5m/s<sup>-1</sup> até um teor de umidade final de 7kg água/100 kg material seco. A massa foi medida em tempos pré-definidos para obtenção da cinética de secagem. A secagem foi mantida até peso constante para a determinação do teor de umidade de equilíbrio.

### Análises

#### Determinação do teor de umidade

O teor de umidade foi determinado segundo método gravimétrico 934.06 da (AOAC, 2005) em estufa a vácuo (pressão ≤ 100 mmHg) a 70°C até peso constante.

### Modelagem da cinética de secagem

A umidade adimensional (RU) foi definida como:

$$RU = \frac{(U_t - U_e)}{(U_0 - U_e)} \quad (1)$$

onde  $U_t$  é o teor de umidade da batata yacon em cada momento,  $U_0$  é o teor de umidade inicial do yacon e  $U_e$  a umidade de equilíbrio.

A cinética de secagem foi obtida experimentalmente com a determinação dos valores do teor de umidade com o tempo e matematicamente modelada conforme os

modelos apresentados na Tabela 1, equação 2 a 5.

Para avaliar o ajuste dos modelos, foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Equação 6) e raiz do erro quadrático médio (RMSE) (Equação 7).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Ru_{pred,i} - \bar{Ru})^2}{\sum_{i=1}^n (Ru_{pred,i} - \bar{Ru})^2} \quad (6)$$

$$RSME = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras *in natura* de yacon apresentaram teor de umidade de  $0,90 \pm 3,2$  kg de água/kg de amostra.

Após 300 min de DO, foi atingindo um teor de umidade de  $0,80 \pm 3,5$  kg de água/kg de amostra.

A Figura 2 apresenta as curvas das cinéticas de secagem do yacon a 70°C com e sem pré-tratamento por DO, em função da razão de umidade (MR).

Observa-se uma redução do teor de umidade nos primeiros minutos de secagem de yacon não pré-tratados. Isso se deve ao alto teor de umidade do tubérculo no início do processo, apresentando grande quantidade de água livre que pode ser facilmente removida (Huang *et al.*, 2021). A influência da temperatura é bem relatada (Djendoubi Mrad *et al.*, 2012; Giri; Prasad, 2007; Vega-Gálvez *et al.*, 2012). O aumento de temperatura resulta em maior excitação de moléculas de água no interior do material com consequente maior difusividade e pressão de vapor mais elevada (Sadeghi *et al.*, 2013). Em relação às amostras pré-tratadas osmoticamente, a taxa de redução do teor de umidade com o tempo foi mais discreta. É devido à perda de água e à interação da umidade com o sólido incorporado.

A figura 3 representa as fatias pós DO e após o processo de secagem em túnel de vento.

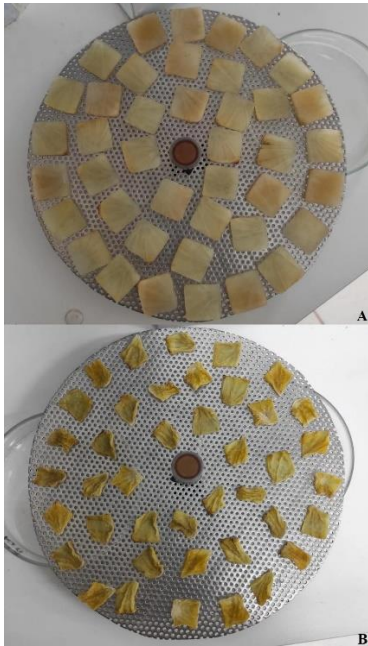


Figura 3: (A) Fatias de yacon pré-tratadas osmoticamente com solução de isomaltulose à 25%. (B) Fatias de yacon pré-tratadas osmoticamente com solução de isomaltulose à 25% após secagem em túnel de vento à 70°C.

O tempo de secagem é significativamente influenciado tanto pela temperatura de secagem quanto pela velocidade do ar.

A velocidade do ar ajuda a reduzir o tempo de secagem, mas seu efeito é menos significativo que a temperatura. Krokida *et al.*, (2003) obtiveram resultados semelhantes sobre a influência da velocidade do ar na secagem de diferentes tipos de vegetais.

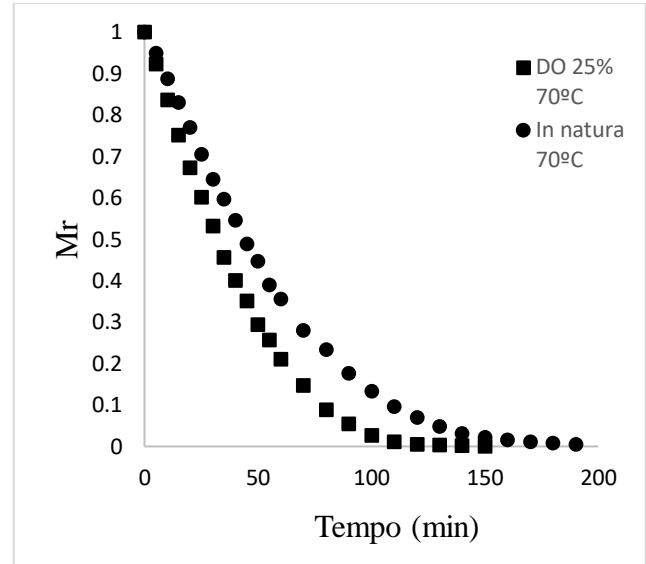


Figura 2: Cinética de secagem de yacon desidratados com solução osmótica de isomaltulose e *in natura*.

A secagem pelo método convectivo é lenta, pois, inicialmente, a superfície do material é aquecida ao receber calor do ar aquecido, por convecção, iniciando a evaporação da água superficial. Além disso, há também a condução de calor da superfície para o interior do material, mas é um mecanismo lento, o que contribui para o atraso na secagem. Posteriormente, a umidade se move do interior para a superfície do material principalmente por mecanismos de difusão devido a um gradiente de concentração e temperatura entre superfície e o interior do produto (Dehghannya *et al.*, 2018 ; Huang *et al.*, 2021 ; Omolola, Jideani, & Capila, 2017 ).

A desidratação osmótica promoveu redução parcial do teor de umidade, como observado no presente estudo (89,20% bu a 80,45% bu). A redução do volume de umidade em um material a ser removido por secagem complementar facilitaria a conclusão desse processo. Durante o processo osmótico, o soluto é incorporado da solução ao material, aumentando a interação da água com o material e diminuindo a difusividade da água, resultando

em maior tempo de secagem (Macedo *et al.*, 2022).

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dos parâmetros de ajustes dos modelos aos dados experimentais, bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RSME).

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram utilizados para ajustar os dados e gerar os respectivos parâmetros (Tabela 2). Embora os modelos Henderson-Pabis, Logarítmico e Wang & Singh tenham se encaixado corretamente, o modelo de Page apresentou o melhor ajuste, confirmado pelo maior valor de  $R^2$  e menor erro percentual de previsão de acordo com a Figura 2. Os

resultados estão semelhantes aos encontrados por REIS *et al.*, (2012) que estudaram a cinética de secagem de fatias de yacon durante a secagem a vácuo e avaliaram o efeito da temperatura de secagem, ajustando a modelos semi-teóricos.

Observa-se que a maioria dos modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, com  $R^2 > 0,99$  e baixos valores de RSME podendo serem utilizados na predição da cinética de DO de fatias de yacon.

Para representar graficamente as curvas de secagem (Figura 3), utilizou-se o modelo de Page por ser mais simples e apresentar menor número de coeficientes comparados aos demais modelos.

Tabela 2: Parâmetros de ajuste dos modelos a cinética de desidratação osmótica de fatias de yacon e valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e raiz do erro quadrático médio (RSME)

Modelo	Tratamento	n	a	b	c	$R^2$	RSME $\times 10^2$
1	25-DO	-	1,0689	-	-	0,98	3,51
	In natura	-	1,0749	-	-	0,98	3,37
2	25-DO	-	1,1238	-	-0,0815	0,99	2,11
	In natura	-	1,1349	-	-0,0890	0,99	1,95
3	25-DO	1,2876	-	-	-	0,99	1,23
	In natura	1,2855	-	-	-	0,99	0,80
4	25-DO	-	-0,0174	0,000074	-	0,99	1,98
	In natura	-	-0,0128	0,000041	-	0,99	1,64

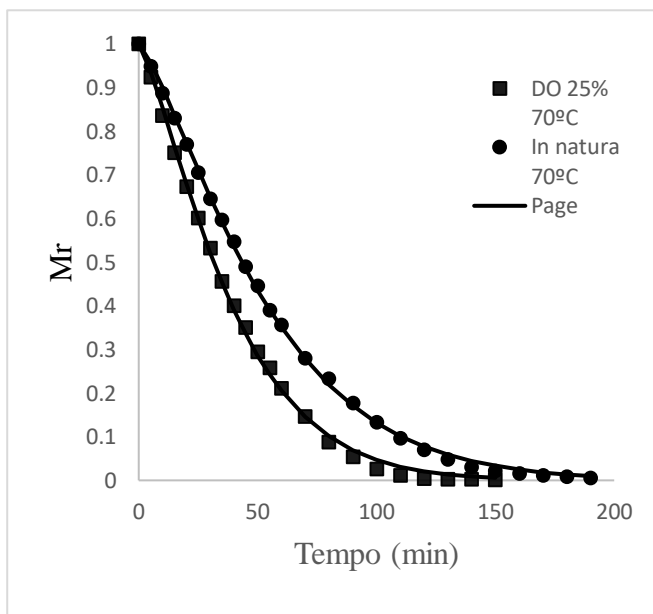


Figura 3: Valores experimentais e estimados da razão de umidade obtidos pelo modelo de Page para a DO de fatias de yacon.

Pode-se verificar, pela correspondência entre os valores experimentais e estimados, um ajuste satisfatório do modelo de Page para a cinética de DO e *in natura* de fatias de batata yacon.

## CONCLUSÃO

As raízes de yacon têm grande potencial de aplicação na indústria alimentícia por seu teor de frutooligossacarídeos, mas o alto teor de água nas raízes de yacon dificulta a preservação da raiz por mais tempo. A secagem é uma maneira adequada de preservar as raízes do yacon, pois permite facilmente uma redução da água.

Os modelos Henderson-Pabis, Logaritmo, Page e Wang Singh, podem ser utilizados com excelentes precisões na predição dos dados da cinética de DO a 70°C. Dentre

eles, o mais indicado de acordo com sua praticidade é o modelo de Page.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico fornecido pela FAPEMIG, CNPQ (314191/2021-6) e CAPES (PROEX AUXPE 0738-2020).

## REFERÊNCIAS

- AOAC. (2005), Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemists International.: Gainstherburg: Horwitz.
- CORRÊA, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. (2010), Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *Journal of Food Engineering*, v.96, n.4, p.498-504.
- CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B.; ALVES, J. G. L. F.; ANDRADE, R. S. (2014), Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin. *International Journal of Food Science & Technology*, v.49, n.9, p.2008-2014.
- CORRÊA, J. L. G., ERNESTO, D. B., & DE MENDONÇA, K. S. (2016), Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 17– 24.
- DE JUNQUEIRA, J. R. J., CORRÊA, J. L. G., & DE MENDONÇA, K. S. (2017), Evaluation of the shrinkage effect on the modeling kinetics of osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.]). *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3).
- DEHGHANNYA *et al.* (2018), Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying Innovative. *Food Science & Emerging Technologies*, 45, pp. 132-151.
- DE MENDONÇA, KAMILA SOARES *et al.* (2016), Optimization of osmotic dehydration of yacon slices. *Drying Technology*, v. 34, n. 4, p. 386-394.
- DJENDOUBI MRAD, N.; BOUDHRIOUA, N.; KECHAOU, N.; COURTOIS, F.; BONAZZI, C. (2012), Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing*, v.90, n.3, p.433-441.
- FANTE, C.; CORRÊA, J.; NATIVIDADE, M.; LIMA, J.; LIMA, L. (2011), Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfbreeze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. *International Journal of Food Science & Technology*, v.46, n.5, p.1080-1085.
- GOYAL, S., SAMSHER, K. & GOYAL, R.K. (2010). Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio sweetener: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61, 1– 10.
- HUANG *et al.*, (2021), Sherif Microwave intermittent drying characteristics of camellia oleifera seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 44 (1).
- KROKIDA MK, KARATHANOS VT, MAROULIS ZB, MARINOS-KOURIS D. (2003), Drying kinetics of some vegetables. *Journal Food Engineering*. 59(4):391–403.
- LENART, A.; DABROWSKA, R. (1999), Kinetics of osmotic dehydration of apples with pectin coatings. *Drying Tech.*, v. 17 (7-8), p. 1359 – 1373.
- LINA, B. A. R., JONKER, D., & KOZIANOWSKI, G. (2002) Isomaltulose (Palatinose®): A review of biological and toxicological studies. *Food and Chemical Toxicology*, 40(10), 1375– 1381.
- MACEDO, LEANDRO LEVATE *et al.* (2022), Intermittent microwave drying and heated air drying of fresh and isomaltulose (Palatinose) impregnated strawberry. *LWT*, v. 155, p. 112918.
- MENDONÇA, K., CORREA, J., JUNQUEIRA, J., ANGELIS-PEREIRA, M., & CIRILLO, M. (2017), Mass transfer kinetics of the osmotic dehydration of Yacon slices with polyols. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), 1– 8.



- OLIVEIRA, L. F. D. (2013), Desidratação osmótica com pulsos de vácuo e secagem a vácuo de yacon. (Tese Doutorado). Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras.
- OMOLOLA *et al.*, (2017), Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (1), pp. 95-108.
- PAGE, G. E., (1949), "Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer", Purdue University, Indiana.
- Q. SHI, Y. ZHENG, Y. ZHAO. (2013), Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) slices *Energy Conversion and Management*, 71, pp. 208-216.
- RAMYA, V., & JAIN, N. K. (2017). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 1-22.
- REIS, FELIPE RICHTER *et al.* (2012), Vacuum drying kinetics of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and the effect of process conditions on fractal dimension and rehydration capacity. *Drying Technology*, v. 30, n. 1, p. 13-19.
- SALINAS, Juan Gabriel *et al.* (2018), The influence of convection drying on the physicochemical properties of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Heat and Mass Transfer*, v. 54, n. 10, p. 2951-2961.
- SAWALE, P. D., SHENDURSE, A. M., MOHAN, M. S., & PATIL, G. R. (2017), Isomaltulose (Palatinose) — An emerging carbohydrate. *Food Bioscience*, 18, 46– 52.
- SHYAM, S., RAMADAS, A., & CHANG, S. K. (2018). Isomaltulose: Recent evidence for health benefits. *Journal of Functional Foods*, 48, 173– 178.
- WANG, C. Y., & SINGH, R. P. (1978), "A single layer drying equation for rough rice", *ASAE Paper*, (78–3001), 33.