



## **INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA SACAROSE POR AÇÚCAR DE COCO COMO SOLUTO NA CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MORANGOS**

LEANDRO LEVATE MACEDO<sup>1\*</sup>, JEFFERSON LUIZ GOMES CORRÊA<sup>1</sup>, CINTIA DA SILVA ARAÚJO<sup>2</sup>, PAULA GIAROLLA SILVEIRA<sup>1</sup>, LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

\*e-mail: leandrolevate@hotmail.com

**RESUMO** - A crescente demanda por alimentos mais saudáveis tem incentivado a busca por açúcares alternativos à sacarose. Desta forma, o presente estudo propôs o uso do açúcar de coco para a desidratação osmótica (DO) de morango, comparando com o processo usando sacarose. Morangos foram cortados em cubos de 13 mm e imersos em soluções osmóticas binárias de 40% de sacarose ou açúcar de coco. A cinética da perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP) e teor de umidade foram determinadas, em um tempo máximo de 420 min. A dispersão dos dados usando a solução de açúcar de coco foi próxima ao do processo usando sacarose. O modelo de Peleg se ajustou bem aos dados experimentais de PA e GS, com  $R^2$  superior a 0,97. Após a DO, foram obtidas PA de 46,13% e 46,62%, GS de 7,79% e 7,63%, RP de 38,34% e 38,99% e o teor de umidade foi reduzido de 93,94% para 77,54% e 77,56% ao usar sacarose e o açúcar de coco, respectivamente. A substituição proposta pouco influenciou as taxas de transferências de massa durante a DO. Portanto, foi possível obter morangos osmo-desidratados mais saudáveis, sem comprometer a eficiência do processo.

### **INTRODUÇÃO**

A população mundial está cada vez mais preocupada com a saúde e o bem-estar, mediante as crescentes ameaças de diabetes, obesidade e doenças cardíacas. Tal mudança de atitude da população tem resultado no aumento da busca por alimentos mais naturais, como as frutas, e elaborados com ingredientes mais saudáveis (Asghar *et al.*, 2020; Castro-Muñoz *et al.*, 2022). Desta forma, as indústrias alimentícias tem buscado medidas para conseguir atender esta demanda emergente dos consumidores.

O açúcar de coco possui um índice glicêmico de 35-42, que, por sua vez, é menor que o da sacarose (58-82). Tal característica é sempre associada a um produto saudável, pois um produto com baixo índice glicêmico é benéfico para pessoas diabéticas e também para

atletas, pois seu consumo não resulta em picos glicêmicos na corrente sanguínea (Asghar *et al.*, 2020).

O açúcar de coco é produzido a partir da seiva da flor do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), por um processo de evaporação e possui uma cor que pode variar do marrom claro ao escuro (Wrage *et al.*, 2019). Além do baixo índice glicêmico, este açúcar se destaca por conter diversos minerais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro), compostos antioxidantes e vitaminas (C, B1, B2, B3 e B6) (Hebbar *et al.*, 2015).

A desidratação osmótica (DO) é um processo em que, geralmente, a sacarose é usada para elaboração da solução hipertônica. Contudo, diversos estudos recentes estão propondo a substituição deste açúcar por açúcares mais saudáveis, visto que, neste processo, pedaços de frutas são imersos na solução hipertônica, onde ocorre trocas de

massa entre a solução e o alimento. Uma destas transferências de massa é a incorporação de açúcar no alimento, além da saída de água do alimento para a solução (Abrahão; Corrêa, 2021; Corrêa *et al.*, 2010; González-Pérez; Ramírez-Corona; López-Malo, 2021).

Para substituir a sacarose, alguns estudos tem proposto o uso de polióis (Kowalska *et al.*, 2020; Macedo *et al.*, 2022a; Mendonça *et al.*, 2017), isomaltulose (Macedo *et al.*, 2022b), sucos concentrados (Macedo *et al.*, 2021; Samborska *et al.*, 2019), mel (Khubber *et al.*, 2020). O presente estudo propôs a substituição da sacarose por açúcar de coco para a desidratação osmótica de morango, com o objetivo de avaliar a influência desta substituição nos parâmetros cinéticos de transferências de massa.

## MATERIAL E MÉTODOS

Morangos frescos foram adquiridos no comércio local, selecionados quanto ao tamanho, cor e integridade, lavados em água corrente, sanitizados com água clorada, enxaguados e drenados com auxílio de papel absorvente. A pele dos morangos foi removida e a polpa cortada em cubos de 13 mm de aresta, com auxílio de um molde de aço inoxidável (Macedo *et al.*, 2022b).

Soluções osmóticas binárias com concentração de 40% foram preparadas pela dissolução de sacarose ou açúcar de coco em água deionizada (Macedo *et al.*, 2022a). A desidratação osmótica (DO) foi realizada pela imersão das amostras nas soluções, na proporção de 1:10 (m V<sup>-1</sup>), por 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 e 420 min, a 25 °C e pressão atmosférica. Ao final do processo de DO, as amostras foram removidas da solução osmótica e imersas em água gelada, por 10 s, para sessar os fluxos de massa entre ambos os sistemas. Em seguida, as amostras foram drenadas em papel absorvente (de Jesus Junqueira *et al.*, 2017).

A perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e a redução de peso (RP) das amostras foram calculados durante os processos de DO, conforme as Equações 1, 2 e 3, respectivamente (Corrêa *et al.*, 2010).

$$PA(\%) = \frac{M_0 X_0 - M_t X_t}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

$$GS(\%) = \frac{M_t(1-X_t) - M_0(1-X_0)}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

$$RP(\%) = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \quad (3)$$

Em que, M é a massa da amostra (kg); X é o teor de umidade da amostra (kg água kg amostra<sup>-1</sup>); e os subíndices “0” e “t” indicam o tempo inicial e t, respectivamente.

O teor de umidade das amostras foi determinado conforme o método 934.06 da AOAC (AOAC, 2010).

O modelo de Peleg (Peleg, 1988) foi usado para representar o comportamento dos dados de PA e GS durante a DO, conforme apresentado nas Equações 4 e 5, respectivamente.

$$PA = \frac{t}{k_1^{PA} + k_2^{PA} t} \quad (4)$$

$$GS = \frac{t}{k_1^{GS} + k_2^{GS} t} \quad (5)$$

Em que, k<sub>1</sub> e k<sub>2</sub> são parâmetros do modelo de Peleg; e t é o tempo (min).

As taxas iniciais (t=0) de PA e GS foram estimadas conforme as Equações 6 e 7, respectivamente (Mendonça *et al.*, 2017).

$$PA_0 = \frac{1}{k_1^{PA}} \quad (6)$$

$$GS_0 = \frac{1}{k_1^{GS}} \quad (7)$$

Os valores de PA, GS e RP na condição de equilíbrio (t→∞) foram ser estimados utilizando as Equações 8 e 9, respectivamente (Mendonça *et al.*, 2017).

$$PA_{eq} = \frac{1}{k_2^{PA}} \quad (8)$$

$$GS_{eq} = \frac{1}{k_2^{GS}} \quad (9)$$

O experimento foi conduzido usando um delineamento inteiramente casualizados, em cinco repetições. O software SigmaPlot foi usado para o ajuste do modelo de Peleg.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As dispersões dos dados de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP) e teor de umidade ao longo do tempo são apresentadas nas Figuras 1 a 4, respectivamente.

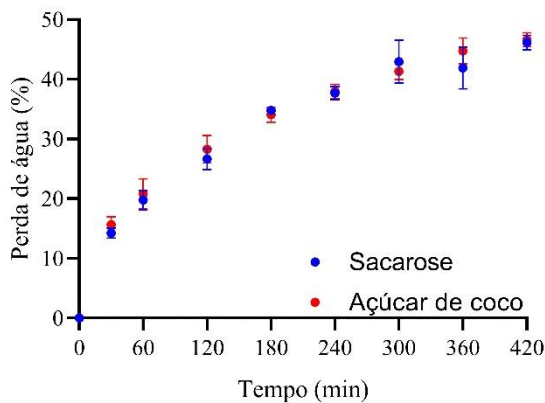


Figura 1 – Perda de água durante as desidratações osmóticas.

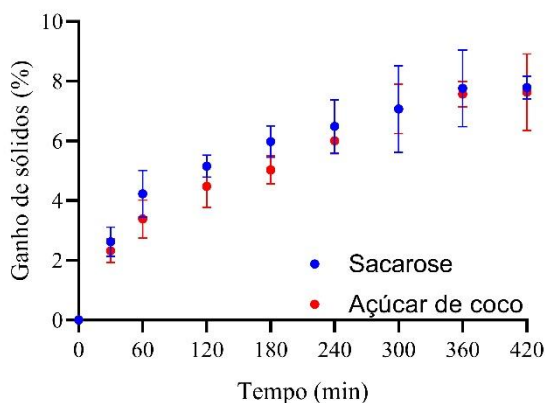


Figura 2 – Ganho de sólidos durante as desidratações osmóticas.

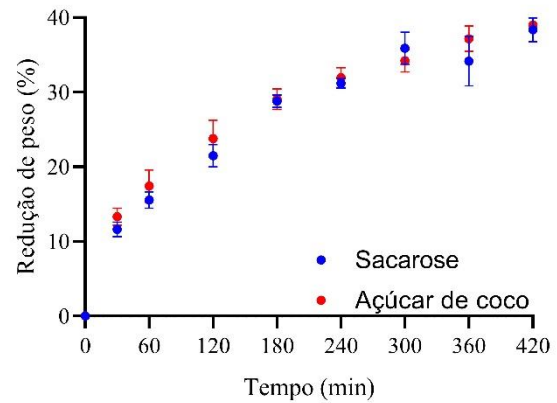


Figura 3 – Redução de peso das amostras ao longo das desidratações osmóticas.

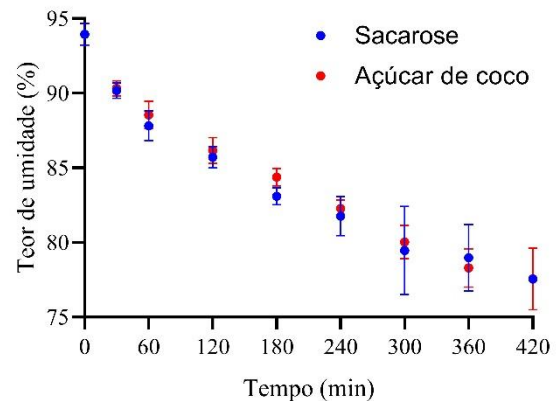


Figura 4 – Teor de umidade das amostras ao longo das desidratações osmóticas.

Os dados obtidos dos processos de desidratação osmótica (DO) usando as soluções osmóticas de sacarose e açúcar de coco foram semelhantes, indicando que a substituição da sacarose pelo açúcar de coco pouco influenciou nas taxas de troca de massa durante a DO de morango. Com isso, tornou-se possível a produção de morangos osmo-desidratados mais saudáveis, de modo a não influenciar a eficiência do processo.

A semelhança observada entre os dados pode ser devido ao fato de o açúcar de coco ser constituído majoritariamente por sacarose (Wrage *et al.*, 2019), fazendo com que ambos os solutos das soluções osmóticas sejam parecidos.

A PA, GS e RP aumentaram ao longo dos processos de DO, principalmente nos primeiros minutos, visto que, neste período, o gradiente

de pressão osmótica entre a solução osmótica e o material é maior, havendo, portanto, maior força motriz para promover as trocas de massa (González-Pérez; Ramírez-Corona; López-Malo, 2021).

O teor de umidade das amostras reduziu ao longo do tempo (Figura 4), devido aos fluxos de PA e GS. Esta redução foi mais expressiva durante os primeiros minutos de DO, devido às maiores taxas de trocas de massa neste período.

A dispersão dos dados apresentou comportamento próximo ao exponencial (Figuras 1 a 4), conforme é comumente observado em outros estudos de DO (Corrêa *et al.*, 2010; de Jesus Junqueira *et al.*, 2018; Macedo *et al.*, 2022b, 2022a).

A PA, GS e RP atingiram valores de até 46,62%, 7,79% e 38,99%, respectivamente, ao final dos 420 min de DO. Além disso, a DO foi capaz de reduzir o teor de umidade do morango de 93,94% para até 77,54%. Valores semelhantes foram observados em outros estudos de DO de morango (Macedo *et al.*, 2022b, 2022a).

Os valores de PA, GS e RP obtidos após um processo de DO dependem de uma série de fatores relacionados, por exemplo, à amostra, como porosidade, forma, geometria e tamanho; a solução osmótica, como massa molar do soluto, concentração da solução; e ao processo, como temperatura, pressão e tempo de duração. Desta forma, torna-se complexa a comparação de valores de um estudo com outro (Abrahão; Corrêa, 2021; González-Pérez; Ramírez-Corona; López-Malo, 2021).

Devido ao comportamento exponencial dos dados, o modelo de Peleg é comumente usado para representar as transferências de massa durante a DO, em que geralmente apresenta uma boa capacidade de predição dos dados experimentais (Cichowska *et al.*, 2018; De Mello *et al.*, 2019; Macedo *et al.*, 2021), conforme também observado no presente estudo. Os valores de coeficiente de determinação do ajuste do modelo de Peleg aos dados de PA e GS apresentaram superiores a 0,97 (Tabela 1), indicando ótimos ajustes aos dados experimentais.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros do modelo de Peleg ajustado às cinéticas de perda de água e ganho de sólidos

	Soluto	$k_1$	$k_2$	$R^2$
PA	S	2,0424	0,0174	0,9899
	AC	1,8837	0,0177	0,9891
GS	S	8,8359	0,1106	0,9896
	AC	13,7079	0,1002	0,9787

Em que, S é sacarose e AC é açúcar de coco.

A dispersão dos dados preditos pelo modelo em relação aos dados experimentais permite observar também a capacidade do modelo em representar os dados. As Figuras 5 e 6 apresentam a dispersão dos dados de PA e GS, respectivamente. Pode-se observar que a dispersão dos dados se encontra próximo a linha imaginária de 45°, o que reflete a proximidade entre os dados preditos dos experimentais (MACEDO *et al.*, 2021).

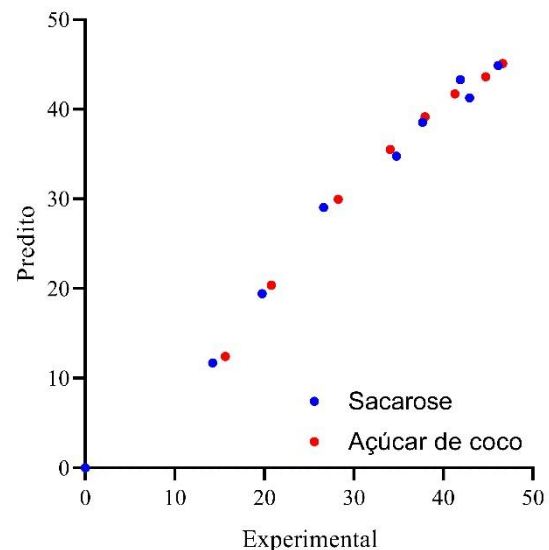


Figura 5 – Dispersão dos dados de perda de água preditos em relação aos experimentais.

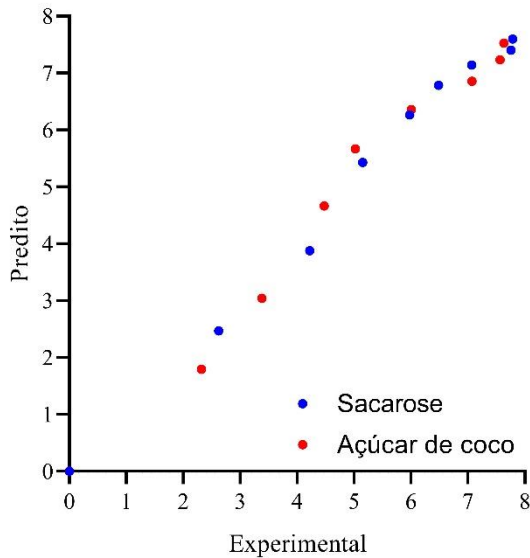


Figura 6 – Dispersão dos dados de ganho de sólidos preditos em relação aos experimentais

Conforme a Tabela 1, o parâmetro  $k_1$  foi menor ao usar o açúcar de coco para a resposta de PA e maior para a resposta de GS. Em relação ao parâmetro  $k_2$ , o uso do açúcar de coco aumentou muito pouco o valor do parâmetro para PA, enquanto que para GS, o uso do açúcar de coco resultou na redução do  $k_2$ .

Os parâmetros  $k_1$  e  $k_2$  podem ser usados para estimar a taxa inicial e o valor da resposta no equilíbrio, respectivamente. Conforme observado na Tabela 2, o uso do açúcar de coco resultou em uma taxa inicial de PA maior que ao usar a sacarose. No entanto, na condição de equilíbrio, o uso da sacarose resultaria em um maior valor de PA.

Tabela 2 – Taxa inicial e valor estimado no equilíbrio das respostas de perda de água e ganho de sólidos

Soluto	$PA_0$	$PA_{eq}$	$GS_0$	$GS_{eq}$
S	0,4896	57,3822	0,1132	9,0449
AC	0,5309	56,5227	0,0730	9,9795

Em que, S é sacarose e AC é açúcar de coco.

A taxa inicial de GS usando sacarose foi maior que usando açúcar de coco (Tabela 2). No entanto, o valor de GS estimado no

equilíbrio foi maior usando açúcar de coco. Isso pode ser devido a presença de açúcares simples, ou seja, de baixo peso molecular, na sua composição (Wrage *et al.*, 2019), o que facilitaria a impregnação do soluto no material (González-Pérez; Ramírez-Corona; López-Malo, 2021).

## CONCLUSÃO

A perda de água, o ganho de sólidos e a redução de peso aumentaram ao longo dos processos osmóticos, enquanto que o teor de umidade reduziu.

O modelo de Peleg se ajustou bem aos dados experimentais, apresentando boa capacidade de predição e  $R^2$  superior a 0,97.

O uso do açúcar de coco comparado a sacarose resultou em uma pequena influência nas respostas avaliadas, o que indica que foi possível produzir morangos osmo-desidratados mais saudáveis, mantendo a eficiência do processo.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: 164691/2020-0; 314191/2021-6), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).

## REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, F. R.; CORRÊA, J. L. G. Osmotic dehydration: More than water loss and solid gain. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, p. 1–20, 29 set. 2021.
- AOAC. Official methods of analysis. 18. ed. Washington: AOAC Internacional Association of Official Analytical

Chemists, 2010.

- ASGHAR, M. T.; YUSOF, Y. A.; MOKHTAR, M. N.; YA'ACOB, M. E.; MOHD. GHAZALI, H.; CHANG, L. S.; MANAF, Y. N. Coconut (*Cocos nucifera* L.) sap as a potential source of sugar: Antioxidant and nutritional properties. *Food Science & Nutrition*, v. 8, n. 4, p. 1777–1787, 30 abr. 2020.
- CASTRO-MUÑOZ, R.; CORREA-DELGADO, M.; CÓRDOVA-ALMEIDA, R.; LARA-NAVA, D.; CHÁVEZ-MUÑOZ, M.; VELÁSQUEZ-CHÁVEZ, V. F.; HERNÁNDEZ-TORRES, C. E.; GONTAREK-CASTRO, E.; AHMAD, M. Z. Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, v. 370, n. January 2021, p. 130991, fev. 2022.
- CICHOWSKA, J.; ŻUBERNIK, J.; CZYŻEWSKI, J.; KOWALSKA, H.; WITROWA-RAJCHERT, D. Efficiency of osmotic dehydration of apples in polyols solutions. *Molecules*, v. 23, n. 2, 2018.
- CORRÊA, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *Journal of Food Engineering*, v. 96, n. 4, p. 498–504, fev. 2010.
- DE JESUS JUNQUEIRA, J. R.; CORRÊA, J. L. G.; DE MENDONÇA, K. S.; DE MELLO JÚNIOR, R. E.; DE SOUZA, A. U. Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration of Beetroot, Carrot and Eggplant Slices: Effect of Vacuum Pressure on the Quality Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, v. 11, n. 10, p. 1863–1875, 25 out. 2018.
- DE JESUS JUNQUEIRA, J. R.; CORRÊA, J. L. G.; DE MENDONÇA, K. S.; RESENDE, N. S.; DE BARROS VILAS BOAS, E. V. Influence of sodium replacement and vacuum pulse on the osmotic dehydration of eggplant slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 41, p. 10–18, jun. 2017.
- DE MELLO, R. E.; CORRÊA, J. L. G.; LOPES, F. J.; DE SOUZA, A. U.; DA SILVA, K. C. R. Kinetics of the pulsed vacuum osmotic dehydration of green fig (*Ficus carica* L.). *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, v. 55, n. 6, p. 1685–1691, 2019.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, J. E.; RAMÍREZ-CORONA, N.; LÓPEZ-MALO, A. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: Process Factors and Non-Thermal Methods. *Food Engineering Reviews*, v. 13, n. 2, p. 344–374, 16 jun. 2021.
- HEBBAR, K. B.; ARIVALAGAN, M.; MANIKANTAN, M. R.; MATHEW, A. C.; THAMBAN, C.; THOMAS, G. V.; CHOWDAPPA, P. Coconut inflorescence sap and its value addition as sugar - Collection techniques, yield, properties and market perspective. *Current Science*, v. 109, n. 8, p. 1411–1417, 2015.
- KHUBBER, S.; CHATURVEDI, K.; TAGHI GHARIBZAHEDI, S. M.; CRUZ, R. M. S.; LORENZO, J. M.; GEHLOT, R.; BARBA, F. J. Non-conventional osmotic solutes (honey and glycerol) improve mass transfer and extend shelf life of hot-air dried red carrots: Kinetics, quality, bioactivity, microstructure, and storage stability. *Lwt*, v. 131, n. March, p. 109764, 2020.
- KOWALSKA, H.; WOŹNIAK, Ł.; MASIARZ, E.; STELMACH, A.; SALAMON, A.; KOWALSKA, J.; PIOTROWSKI, D.; MARZEC, A. The impact of using polyols as osmotic agents on mass exchange during osmotic dehydration and their content in osmodehydrated and dried apples. *Drying Technology*, v. 38, n. 12, p. 1620–1631, 2020.
- MACEDO, L. L.; CORRÊA, J. L. G.; ARAÚJO, C.; VIMERCATI, W. C. Effect of osmotic agent and vacuum application on mass exchange and qualitative parameters of osmotically dehydrated strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, n.

November 2021, p. 1–10, 18 abr. 2022a.

MACEDO, L. L.; CORRÊA, J. L. G.; VIMERCATI, W. C.; ARAÚJO, C. The impact of using vacuum and isomaltulose as an osmotic agent on mass exchange during osmotic dehydration and their effects on qualitative parameters of strawberries. *Journal of Food Process Engineering*, v. 45, n. March, p. 1–13, 7 abr. 2022b.

MACEDO, L. L.; DA SILVA ARAÚJO, C.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Influence of yacon syrup concentration and drying air temperature on properties of osmotically pre-dehydrated dried banana. *Heat and Mass Transfer*, v. 57, n. 3, p. 441–451, 21 mar. 2021.

MENDONÇA, K.; CORREA, J.; JUNQUEIRA, J.; ANGELIS-PEREIRA, M.; CIRILLO, M. Mass Transfer Kinetics of the Osmotic Dehydration of Yacon Slices with Polyols. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 41, n. 1, p. e12983, fev. 2017.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *Journal of Food Science*, v. 53, n. 4, p. 1216–1217, jul. 1988.

SAMBORSKA, K.; ELIASSON, L.; MARZEC, A.; KOWALSKA, J.; PIOTROWSKI, D.; LENART, A.; KOWALSKA, H. The effect of adding berry fruit juice concentrates and by-product extract to sugar solution on osmotic dehydration and sensory properties of apples. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 4, p. 1927–1938, 2019.

WRAGE, J.; BURMESTER, S.; KUBALLA, J.; ROHN, S. Coconut sugar (*Cocos nucifera* L.): Production process, chemical characterization, and sensory properties. *Lwt*, v. 112, n. May, p. 108227, 2019.