

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 17/02/2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

MARIA JULIA NEVES MARTINS

**EMPREGO DE ULTRASSOM DE ALTA INTENSIDADE PARA
INTENSIFICAÇÃO DA ETAPA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA PARA
PRODUÇÃO DE GENGIBRE SEMI-DESIDRATADO**

São José do Rio Preto - SP
2023

MARIA JULIA NEVES MARTINS

**EMPREGO DE ULTRASSOM DE ALTA INTENSIDADE PARA
INTENSIFICAÇÃO DA ETAPA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA PARA
PRODUÇÃO DE GENGIBRE SEMI-DESIDRATADO**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Coorientador: Prof. Dr. Tiago Carregari Polachini

São José do Rio Preto - SP
2023

M386e	Martins, Maria Julia Neves Emprego de ultrassom de alta intensidade para intensificação da etapa de desidratação osmótica para produção de gengibre semi-desidratado / Maria Julia Neves Martins. -- São José do Rio Preto, 2023 163 f. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto Orientador: Javier Telis Romero Coorientador: Tiago Carregari Polachini 1. Sacarose. 2. Glicose. 3. Frutose. 4. Maltitol. 5. Cavitação. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MARIA JULIA NEVES MARTINS

**EMPREGO DE ULTRASSOM DE ALTA INTENSIDADE PARA
INTENSIFICAÇÃO DA ETAPA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA PARA
PRODUÇÃO DE GENGIBRE SEMI-DESIDRATADO**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Javier Telis Romero
UNESP – Câmpus de São José do
Rio Preto
Orientador

Prof.^a Dr.^a Kivia Mislaine Albano
UFSCar - Universidade Federal de
São Carlos

Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes
Corrêa
UFLA - Universidade Federal de
Lavras

Dr.^a Jessica Thaís do Prado Silva
USP - Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Róger Darros Barbosa
UNESP – Câmpus de São José do
Rio Preto

São José do Rio Preto - SP
17 de fevereiro de 2023

Dedico este trabalho...

... à minha família, que sempre me apoiou nesta escolha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter iluminado minha trajetória até aqui.

Agradeço à minha família em especial meus pais Arthur e Davilza, meu irmão Arthur Henrique e meus avôs Arthur e David por sempre me apoiarem nas minhas escolhas. Amo vocês.

Agradeço à minhas avós Ilza (*in memorian*) e Pierina (*in memorian*), embora não presentes, por seus ensinamentos e recordações que foram essenciais para superar os dias turbulentos.

Agradeço à minha família pelo carinho.

Agradeço ao meu orientador Javier e coorientador Tiago pela amizade, apoio, paciência, por sempre ter me auxiliado e compartilhado seus conhecimentos.

Agradeço aos meus amigos de laboratório Marcio Augusto, Bianca, Carol, André, Rodrigo, Adilson e Micael pela amizade, companheirismo e pelos momentos de alegria. Vocês são especiais.

Agradeço à todos os professores do departamento, por compartilhar seus conhecimentos e experiencias.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, a qual agradeço pelo apoio financeiro.

RESUMO

O gengibre é um alimento que vem sendo bastante consumido em várias formulações devido ao seu sabor característico de pungência e pelas propriedades nutraceuticas. Entretanto, sua alta perecibilidade *in natura* devido à alta umidade é um dos problemas enfrentados pelas indústrias. Por isso, tecnologias combinadas vêm sendo estudadas para melhoria do processo e qualidade do produto final. A desidratação osmótica, aplicada como pré-tratamento à secagem para a redução parcial de umidade, pode ser combinada com aplicação de ultrassom para a intensificação dos processos de transferência de massa. Nestes processos, a sacarose é usada como agente osmótico tradicional, embora venha sendo substituída por glicose, frutose e solutos não convencionais, como o maltitol. Este último permite atender às demandas do consumidor por produtos com teor calórico reduzido. A determinação das propriedades termofísicas das soluções osmóticas em ampla faixa de concentração e temperatura é a etapa inicial necessária para o correto dimensionamento da transferência de massa, assim como outras operações unitárias e dimensionamento de equipamentos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a intensificação da etapa de desidratação osmótica de gengibre através do emprego de ultrassom de alta intensidade, visando sua transformação em produto final semi-desidratado. Para isso, inicialmente, soluções osmóticas de sacarose, glicose e frutose foram caracterizadas de acordo com as propriedades termofísicas (densidade, viscosidade, calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica) em ampla faixa de concentração (10 a 60°Brix) e temperatura (273,15 a 358,15K). Propriedades de transporte de soluções saturadas convencionais de sacarose e não-convencionais de maltitol também foram estudadas em condições similares de temperatura (273,15 a 358,15K). Foi realizado, então, um estudo comparativo da desidratação osmótica de gengibre em solução saturada de maltitol na condição convencional, agitada mecanicamente (100 rpm) ou assistida por ultrassom de alta intensidade (700W) com sistema pulsado (1 s on; 4 s off) em diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C). Como resultados, maiores densidades e menores valores de calor específico e condutividade térmica foram observados para as soluções osmóticas de sacarose, glicose e frutose quando a temperatura diminuiu e a concentração de soluto aumentou. Ao avaliar as soluções saturadas de sacarose e maltitol, a densidade e a difusividade térmica apresentaram valores crescentes com o

aumento da temperatura, enquanto o calor específico e a condutividade térmica apresentaram valores decrescentes nas mesmas condições. A viscosidade apresentou comportamento contrário para as soluções com o aumento da temperatura: aumentando para maltitol e diminuindo para sacarose. Tais resultados foram relacionados com as mudanças simultâneas na solubilidade e concentração dos solutos em solução. Por fim, a desidratação osmótica de gengibre em temperaturas mais altas foi intensificada no que diz respeito à perda de água e ganho de sólidos, independente do processo aplicado. Entre as três condições de desidratação osmótica, a condição assistida por ultrassom apresentou maior intensificação de perda de água e ganho de sólidos seguido pela condição agitada mecanicamente e a convencional. O modelo de Weibull apresentou melhores ajustes aos dados experimentais nas três condições de processamento com $R^2 \geq 0,9948$ e $RMSE \leq 0,1158$. Portanto, o ultrassom se mostrou como ferramenta eficiente para intensificar a transferência de massa na desidratação osmótica de gengibre com solução saturada de maltitol.

Palavras-chave: Sacarose. Glicose. Frutose. Maltitol. Técnicas combinadas. Cavitação.

ABSTRACT

Ginger is a food that has been widely consumed in various formulations due to its characteristic pungent flavor and nutraceutical properties. However, its high perishability in natura due to high moisture is one of the problems faced by industries. Therefore, combined technologies have been studied to improve the process and the quality of the final product. Osmotic dehydration applied as a pre-treatment to drying for partial moisture reduction, can be combined with ultrasound application for the intensification of mass transfer processes. In these processes, sucrose is used as the traditional osmotic agent, although it is being replaced by glucose, fructose, and unconventional solutes such as maltitol. The latter makes it possible to meet consumer demands for low-calorie products. Determining the thermophysical properties of osmotic solutions over a wide concentration and temperature range is a necessary initial step to correctly dimension mass transfer, as well as other unit operations and equipment dimensioning. Thus, the objective of this study was to evaluate the intensification of the ginger osmotic dehydration step through the use of high-intensity ultrasound, aiming its transformation into a semi-dehydrated final product. For this, initially, osmotic solutions of sucrose, glucose, and fructose were characterized according to thermophysical properties (density, viscosity, specific heat, thermal conductivity, and thermal diffusivity) over a wide concentration (10 a 60°Brix) and temperature range (273,15 a 358,15K). Transport properties of conventional saturated sucrose and unconventional maltitol solutions were also studied under similar temperature conditions (273,15 a 358,15K). A comparative study of the osmotic dehydration of ginger in saturated maltitol solution in the conventional condition without stirring, mechanically stirred (100 rpm) or assisted by high-intensity ultrasound (700W) with pulsed system (1 s on; 4 s off) at different temperatures (25, 35 and 45°C) was then performed. As results, higher densities and lower values of specific heat and thermal conductivity were observed for the osmotic solutions of sucrose, glucose and fructose when the temperature decreased and the solute concentration increased. When evaluating the saturated sucrose and maltitol solutions, the density and thermal diffusivity showed increasing values with increasing temperature, while the specific heat and thermal conductivity showed decreasing values under the same conditions. The viscosity showed opposite behavior for the solutions with increasing temperature: increasing for maltitol and decreasing for sucrose. Such results were related to the

simultaneous changes in solubility and concentration of the solutes in solution. Finally, osmotic dehydration of ginger at higher temperatures was intensified with respect to water loss and solids gain, regardless of the process applied. Among the three osmotic dehydration conditions, the ultrasound-assisted condition showed the greatest intensification of water loss and solids gain followed by the mechanically agitated and the conventional without agitation condition. The Weibull model showed the better fits to the experimental data in the three processing conditions with $R^2 \geq 0.9948$ and $RMSE \leq 0.1158$. Therefore, ultrasound was shown to be an efficient tool to enhance mass transfer in osmotic dehydration of ginger with saturated maltitol solution.

Keywords: Sucrose. Glucose. Fructose. Maltitol. Combined techniques. Cavitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Organização dos capítulos apresentados na presente tese de doutorado.....	22
Figura 5.1. Apparatus used for measuring effective thermal conductivity.....	80
Figura 5.2. Density (ρ), specific heat (c_p) and thermal conductivity (λ) for (a, d, g) sucrose, (b, e, h) glucose and (c, f, i) fructose solutions as functions of solute concentration (°Brix) and temperature (K).....	85
Figura 5.3. Prandtl number (Pr) for (a) sucrose, (b) glucose and (c) fructose solutions as functions of solute concentration (°Brix) and temperature (K).....	91
Figura 6.1. Experimental apparatus used for determining solubility of sucrose and maltitol in water.....	106
Figura 6.2. Solubility of sucrose and maltitol in water at different temperatures. Dots are the average values, and the vertical bars the standard deviation. Lines represent the best model fitted.....	111
Figura 6.3. Density of sucrose and maltitol in water at different temperatures. Dots are the average values, and the vertical bars the standard deviation. Lines represent the best model fitted.....	113
Figura 6.4. Viscosity of sucrose and maltitol in water at different temperatures. Dots are the average values, and the vertical bars the standard deviation. Lines represent the best model fitted.....	115
Figura 6.5. Specific heat of sucrose and maltitol in water at different temperatures. Dots are the average values, and the vertical bars the standard deviation. Lines represent the best model fitted.....	117
Figura 6.6. Thermal conductivity of sucrose and maltitol in water at different temperatures. Dots are the average values, and the vertical bars the standard deviation. Lines represent the best model fitted.....	118
Figura 6.7. Thermal diffusivity of sucrose and maltitol in water at different temperatures. Dots are the average values, and the vertical bars the standard deviation. Lines represent the best model fitted.....	120
Figura 7.1. Aparato experimental utilizado para a desidratação osmótica a) convencional (OD); b) agitada mecanicamente (AGOD); e c) assistida por ultrassom (USOD).....	144

Figura 7.2. Efeito da temperatura sobre a perda de água (WL) do gengibre durante a desidratação osmótica convencional (OD), agitada mecanicamente (AGOD) e assistida por ultrassom (USOD).....	148
Figura 7.3. Efeito da temperatura sobre o ganho de sólidos (SG) do gengibre durante a desidratação osmótica convencional (OD), agitada mecanicamente (AGOD) e assistida por ultrassom (USOD).....	149
Figura 7.4. Efeito da desidratação osmótica convencional (OD), agitada mecanicamente (AGOD) e assistida por ultrassom (USOD) sobre a WL do gengibre...	150
Figura 7.5. Efeito da desidratação osmótica convencional (OD), agitada mecanicamente (AGOD) e assistida por ultrassom (USOD) sobre o SG do gengibre...	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Estudos sobre desidratação osmótica assistida por ultrassom em frutas e vegetais nos aspectos de transferência de massa.....	36
Tabela 4.2. Estudos sobre secagem com pré-tratamento de desidratação osmótica assistido por ultrassom em frutas e vegetais nos aspectos de transferência de massa	37
Tabela 4.3. Estudos sobre secagem assistida por ultrassom em frutas e vegetais nos aspectos de transferência de massa	38
Tabela 5.1. Mathematical models used to fit the experimental data of density, specific heat and thermal conductivity of sucrose, glucose and fructose solutions.....	82
Tabela 5.2. Means and standard deviation for the density of sucrose, glucose and fructose solutions at different solute concentrations and temperatures.....	83
Tabela 5.3. Means and standard deviation for the specific heat of sucrose, glucose and fructose solutions at different solute concentrations and temperatures.....	86
Tabela 5.4. Means and standard deviation for the thermal conductivity of sucrose, glucose and fructose solutions at different solute concentrations and temperatures.....	88
Tabela 5.5. Calculated Prandtl numbers for sucrose, glucose and fructose solutions at different solute concentrations and temperatures.....	89
Tabela 5.6. Fitting parameters of the proposed models for density, specific heat and thermal conductivity.....	91
Tabela 5.S1. Dynamic viscosity for sucrose, glucose and fructose solutions at different solute concentration and temperatures (Telis et al., 2007).....	100
Tabela 6.1. Fitting parameters of best model to describe solubility, density, viscosity, specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity of the saturated solutions of sucrose and maltitol.....	121
Tabela 6.S1. Solubility of saturated solutions of sucrose and maltitol at different temperatures (average $\pm$ standard deviation).....	131
Tabela 6.S2. Density of saturated solutions of sucrose and maltitol at different temperatures (average $\pm$ standard deviation).....	132

Tabela 6.S3. Viscosity of saturated solutions of sucrose and maltitol at different temperatures (average $\pm$ standard deviation).....	133
Tabela 6.S4. Specific heat of saturated solutions of sucrose and maltitol at different temperatures (average $\pm$ standard deviation).....	134
Tabela 6.S5. Thermal conductivity of saturated solutions of sucrose and maltitol at different temperatures (average $\pm$ standard deviation).....	135
Tabela 6.S6. Thermal diffusivity of saturated solutions of sucrose and maltitol at different temperatures (average $\pm$ standard deviation).....	136
Tabela 7.1. Parâmetros do modelo Peleg para perda de água (WL) e ganho de sólidos (SG).....	153
Tabela 7.2. Parâmetros do modelo de Weibull para perda de água (WL) e ganho de sólidos (SG).....	154
Tabela 7.3. Parâmetros do modelo Z&L para perda de água (WL) e ganho de sólidos (SG).....	155

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVO	17
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos	18
3. ORGANIZAÇÃO DA TESE	19
4. CAPÍTULO 1.....	23
5. CAPÍTULO 2.....	73
6 . CAPÍTULO 3	101
7. CAPÍTULO 4.....	137
8. CONCLUSÃO GERAL	160
9. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	162

1. INTRODUÇÃO GERAL

Dentre a grande variedade de alimentos produzidos no Brasil, parte possui produção regional e sazonal. A alta perecibilidade de frutas, tubérculos e raízes é a maior dificuldade encontrada pelos fornecedores e indústrias alimentícias durante sua cadeia de suprimento nas mais diferentes regiões. Durante a colheita e pós-colheita, fatores como a composição química do alimento e condições ambientais podem potencializar sua perecibilidade.

O gengibre, caracterizado como um rizoma subterrâneo, tem como característica sensorial principal a pungência - responsável pela sua percepção refrescante. A pungência está relacionada com compostos bioativos presentes nos óleos voláteis e compostos pungentes não voláteis. Esses compostos apresentam propriedades medicinais como antiúlcera, anti-inflamatórias, antináusea, antibacterianas, trazendo benefícios com o seu consumo. Tais compostos são predominantemente ativos no gengibre quando consumido *in natura*, em conserva, desidratado e como especiaria na fabricação de bebidas, balas, bolachas, bolos e temperos.

Por possuir alto teor de umidade, em torno de 78% (USDA, 2018), a redução da umidade e atividade de água do gengibre aumenta a estabilidade dos compostos bioativos e reduz a ação microbiana. Por essa razão, os processos de desidratação são utilizados desde a antiguidade até os dias atuais. Assim como qualquer outro processo, a desidratação passa por buscas constantes de otimização, com o objetivo de reduzir o tempo, consumo energético e melhorar a qualidade final do alimento. Diante disso, iniciaram-se estudos sobre técnicas combinadas de desidratação osmótica com aplicação de ultrassom. A desidratação osmótica pode ser caracterizada como um pré-tratamento à secagem. Ela contempla processos de transferência de calor e massa ao imergir o alimento em solução osmótica. Estes processos causam a redução da umidade do alimento, consequentemente facilitando a eventual secagem para assegurar melhor qualidade final.

Entretanto, o processo de desidratação osmótica é oneroso e exige longos tempos de processamento. Naturalmente, a força motriz destes processos é dada pela diferença de potencial químico do alimento e da solução osmótica, o qual é potencializado ao utilizar soluções no limite de saturação. Como técnicas auxiliares de intensificação desses processos e melhora da retenção das propriedades nutricionais e bioativas, a aplicação de ultrassom de alta intensidade têm sido destaque quando empregada em conjunto com processos convencionais. O ultrassom é classificado como uma tecnologia emergente, ou seja, uma tecnologia de inovação e de crescimento na área de alimentos. Na desidratação osmótica, ele pode potencializar a transferência de massa devido às alterações causadas na estrutura do alimento como consequência dos efeitos sonoquímicos.

O grau de intensidade dos efeitos sonoquímicos dependem não somente das condições do processo, mas também das propriedades do material tratado. Por isso, entender como as propriedades termofísicas das soluções osmóticas se comportam nas diferentes condições é de suma importância. Tais propriedades são responsáveis por potencializar ou prejudicar a cinética do processo, dependendo do material e condições.

Soluções osmóticas preparadas a partir de sacarose são muito utilizadas industrialmente. Entretanto, estudos vêm buscando possíveis substituições por outros solutos convencionais, como glicose, frutose e solutos, assim como não convencionais, como edulcorantes maltitol, xilitol e eritritol. Esta última classe vem ganhando espaço devido às demandas dos consumidores quanto à produção de alimentos com baixo valor calórico, visando atender dietas com redução calórica ou com restrições alimentares.

O maltitol, especificamente, é um edulcorante que pode ser utilizado em desidratação osmótica de frutas devido ao seu poder adoçante comparável à sacarose, baixo valor calórico, lenta absorção no trato digestivo, baixa higroscopicidade e por não apresenta sabor residual. Mesmo quando submetida à temperaturas mais altas, o uso do maltitol previne as reações de caramelização e escurecimento presentes ao empregar-se solutos convencionais. Por essas razões, seu emprego na desidratação osmótica são incipientes, principalmente ao avaliar seu comportamento na presença de tecnologias intensificadoras como o ultrassom. A desidratação de alguns alimentos já vem sendo estudados ao empregar tais soluções com bons resultados. Porém, até o nosso conhecimento, estes estudos ainda não foram realizados para o gengibre – principalmente no que diz respeito ao processo de transferência de massa.

Dessa forma, observou-se a necessidade de caracterizar e avaliar, inicialmente, as propriedades termofísicas de diferentes soluções osmóticas (convencionais e não-convencionais). A forma como se comportam mediante alterações na concentração e temperatura de processamento poderá contribuir ou retardar as cinéticas de transferência de massa, bem como nos mecanismos de atuação do ultrassom. Como base, este estudo buscou se especificar na desidratação osmótica do gengibre empregando soluções saturadas de maltitol, na ausência de agitação e na presença de agitação convencional ou com ultrassom de alta intensidade, como tecnologias intensificadoras.

7.5 Referências bibliográficas

AHMAD-QASEM, M. H. et al. Kinetic and compositional study of phenolic extraction from olive leaves (*var. Serrana*) by using power ultrasound. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 17, p. 120–129, 2013.

AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 29–43, 2016.

AMAMI, E.; VOROBIEV, E.; KECHAOU, N. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field. **LWT**, v. 39, n. 9, p. 1014–1021, 2006.

AN, K. et al. Comparison of pulsed vacuum and ultrasound osmotic dehydration on drying of Chinese ginger (*Zingiber officinale Roscoe*): Drying characteristics, antioxidant capacity, and volatile profiles. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 8, p. 2537–2545, 2019.

BHARGAVA, N. et al. Advances in application of ultrasound in food processing: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105293, 2021.

BIALIK, M. et al. The Influence of Osmotic Dehydration Conditions on Drying Kinetics and Total Carotenoid Content of Kiwiberry (*Actinidia Arguta*). **International Journal of Food Engineering**, v. 16, n. 1–2, 2020.

CÁRCEL, J. A. et al. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 200 – 207, 2012.

CHEN, Y. et al. Novel ultrasonic-assisted vacuum drying technique for dehydrating garlic slices and predicting the quality properties by low field nuclear magnetic resonance. **Food Chemistry**, v. 306, p. 125625, 2020.

CIURZYŃSKA, A. et al. Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 50, p. 186–192, 2016.

CUNHA et al. Stochastic approach to the modelling of water losses during osmotic dehydration and improved parameter estimation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 253–262, 2001.

DASH, K. K.; BALASUBRAMANIAM, V. M.; KAMAT, S. High pressure assisted osmotic dehydrated ginger slices. **Journal of Food Engineering**, v. 247, p. 19–29, 2019.

GALANAKIS, C. M. Functionality of food components and emerging technologies. **Foods** 2021, v. 10, n. 1, p. 128, 2021

GALLEGO-JUÁREZ, J. A. Some applications of air-borne power ultrasound to food processing. In: POVEY, M. J. W.; MASON, T. J. (Eds.). **Ultrasound in Food Processing**. 1. ed. Londres: Chapman & Hall, 1999. p. 127–143.

GANJLOO, A. et al. Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (*Psidium guajava* L.): Effect of Process Parameters. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2151–2159, 2012.

JIANG, J. et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries. **LWT**, v. 145, p. 111300, 2021.

KOWALSKA, H. et al. 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.

KROEHNKE, J. et al. Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) – The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 71, p. 105377, 2021.

LEWICKI, P. P.; LENART, A. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In: **Handbook of industrial drying**. CRC press, 2020. p. 691-713.

LUSTIG, R. H.; SCHMIDT, L. A.; BRINDIS, C. D. The toxic truth about sugar. **Nature**, v. 482, n. 7383, p. 27–29, 2012.

MALDONADO, M.; GONZÁLEZ PACHECO, J. Mathematical modelling of mass transfer phenomena for sucrose and lactitol molecules during osmotic dehydration of cherries. **Heliyon**, v. 8, n. 1, p. e08788, 2022.

MARTINS, M. J. N. et al. Transport properties of saturated sucrose and maltitol solutions as affected by temperature. **Journal of Molecular Liquids**, v. 336, p. 116254, 2021.

- MENDONÇA, K. et al. Mass transfer kinetics of the osmotic dehydration of yacon slices with polyols. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. e12983, 2016.
- MERCALI, G. D. et al. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **LWT**, v. 44, n. 1, p. 82–91, 2011.
- MITCHELL, H. Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology. **Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology**, p. 1–413, 2007.
- OSAE, R. et al. Effects of ultrasound, osmotic dehydration, and osmosonication pretreatments on bioactive compounds, chemical characterization, enzyme inactivation, color, and antioxidant activity of dried ginger slices. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 5, 2019.
- PALACIOS ROMERO, I. et al. Optimization of the osmotic dehydration process of plums (*Prunus Salicina Lindl.*) in solutions enriched with inulin, using response surface methodology. **LWT**, v. 157, p. 113092, 2022.
- PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1217, 1988.
- PRITHANI, R.; DASH, K. K. Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 64, p. 102407, 2020.
- RAHAMAN, A. et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 58, p. 104643, 2019.
- SHUKLA, A.; GOUD, V. V.; DAS, C. Antioxidant potential and nutritional compositions of selected ginger varieties found in Northeast India. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 167–176, 2019.
- SRINIVASAN, K. Ginger rhizomes (*Zingiber officinale*): A spice with multiple health beneficial potentials. **PharmaNutrition**, v. 5, n. 1, p. 18-28, 2017.
- SULISTYAWATI, I. et al. Modelling the kinetics of osmotic dehydration of mango: Optimizing process conditions and pre-treatment for health aspects. **Journal of Food Engineering**, v. 280, p. 109985, 2020.
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 253–259, 2004.
- WHO. **Monographs on selected medicinal plants**. v. 1. Geneva, p. 277-287, 1999.

WOJDYŁO, A. et al. Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 3, p. 829–841, 2014.

ZUGARRAMURDI; LUPÍN. A model to explain observed behavior on fish salting. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 5, p. 1305–1311, 1980.

ZÚÑIGA, R. N.; PEDRESCHI, F. Study of the Pseudo-equilibrium During Osmotic Dehydration of Apples and Its Effect on the Estimation of Water and Sucrose Effective Diffusivity Coefficients. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 7, p. 2717–2727, 2012.

8. CONCLUSÃO GERAL

As técnicas de desidratação de frutas e vegetais como desidratação osmótica, secagem convencional e osmo-secagem vem sendo aprimoradas com a aplicação do ultrassom de alta intensidade. O ultrassom é uma tecnologia emergente, verde e não térmica que proporciona alterações desejáveis ao produto e ao processo, tais como: intensificação da transferência de massa, retenção da cor e compostos bioativos, melhora na textura e percepção sensorial. Devido a variabilidade das matrizes das frutas e vegetais e condições experimentais é bastante promissor a revisão e o desenvolvimento de trabalhos com aplicação de ultrassom em técnicas de desidratação.

Começando pelas propriedades das soluções osmóticas, é observado que elas têm um papel importante na intensidade dos campos acústicos produzido – razão pela qual foram estudadas suas propriedades em diferentes condições. Em geral, a densidade das soluções aumenta com o aumento da concentração e com a redução da temperatura, sendo obtida a maior densidade para soluções de frutose. O calor específico e a condutividade térmica apresentaram comportamento inverso da densidade, sendo obtido o maior calor específico na solução de frutose e a maior condutividade térmica na solução de sacarose. Ao analisar as propriedades de transporte (solubilidade, densidade, viscosidade, calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica) de soluções saturadas de sacarose e maltitol, foi apresentado um ponto de interseção entre as soluções, na qual ocorre o cruzamento dos dados das soluções. Maiores valores de solubilidade, densidade, viscosidade e difusão térmica foram obtidos para a solução saturada de sacarose, nas temperaturas inferiores antes do ponto de intersecção (295 a 340°C). Maiores valores de calor específico e condutividade térmica foram obtidos para a solução saturada de maltitol, nas temperaturas inferiores antes do ponto de intersecção. A viscosidade da solução saturada de sacarose diminuiu com o aumento da temperatura, comportamento contrário foi obtido para a solução saturada de maltitol. Tais comportamentos são atribuídos à simultânea mudança da solubilidade e concentração para manter a solução saturada em temperaturas mais elevadas.

Na desidratação osmótica de gengibre com solução saturada de maltitol, o aumento da temperatura intensificou a perda de água e o ganho de sólidos. Entre as três condições de processamento testadas, a aplicação de ultrassom de alta intensidade intensificou maior perda de água e ganho de sólidos seguido da condição com agitação mecânica e, por último, da desidratação convencional.