

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 25/02/2021.



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

Maria Júlia Neves Martins

**Influência da Aplicação do Ultrassom de Alta Intensidade na
Desidratação Osmótica do Gengibre**

São José do Rio Preto - SP
2019

Maria Júlia Neves Martins

**Influência da Aplicação do Ultrassom de Alta Intensidade na
Desidratação Osmótica do Gengibre**

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

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

São José do Rio Preto - SP
2019

M386i Martins, Maria Júlia Neves
Influência da aplicação do ultrassom de alta intensidade na desidratação osmótica do gengibre / Maria Júlia Neves Martins. -- São José do Rio Preto, 2019
80 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientador: Javier Telis Romero

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos desidratação. 3. Gengibre. 4. Ultrassom. 5. Sacarose. 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 Júlia Neves Martins

**Influência da Aplicação do Ultrassom de Alta Intensidade na
Desidratação Osmótica do Gengibre**

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

Financiadora: CAPES

COMISSÃO EXAMINADORA

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

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro
UNESP – São José do Rio Preto

Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Marques Pedro
UNILAGO – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto – SP
25 de fevereiro de 2019

Dedico este trabalho...

...A minha família, que nunca mediu esforços para me apoiar nesta escolha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida.

Agradeço a minha família em especial meus pais e meu irmão por sempre me apoiarem nas minhas escolhas.

Agradeço ao meu orientador e professor Javier por sempre ter me auxiliado durante o mestrado, compartilhando seus conhecimentos.

Agradeço aos meus avôs David e Arthur por sempre estarem perto de mim me proporcionando momentos alegres.

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

Agradeço a todos os professores do departamento, pela boa acolhida no curso e por compartilharem seus ensinamentos. Todos são muito especiais.

Agradeço ao professor Róger por me ajudar durante o desenvolvimento de trabalhos, compartilhando seus conhecimentos.

Agradeço aos alunos do Laboratório da Prof^a Maria Aparecida, Prof^a Vânia e Prof João Cláudio por compartilharem suas experiências.

Agradeço aos meus amigos de laboratório, Bianca, Tiago, Gisandro, Marcio, Rodrigo, Lilian, Bruna pela amizade e parceria nos trabalhos.

Agradeço à Elisa, Milena, Carol, Maria Mariana, Mariane, Lili, Lais e Letícia pela amizade.

Agradeço à minha amiga Bianca pelo companheirismo durante vários anos de amizade.

Agradeço a minhas amigas Patrícia, Michele, Bruna, Larissa e Jaqueline por sempre estarem ao meu lado.

Agradeço a Deus por conseguir realizar um dos meus sonhos e que ele continue me dando saúde para dar continuidade à minha jornada.

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.

Agradeço a todas as pessoas do meu convívio pois cada uma me ensinou algo de especial, contribuindo para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charlie Chaplin

RESUMO

Alguns alimentos como frutas, legumes e hortaliças apresentam nível de perecibilidade elevado, o que gera insatisfação do consumidor ao adquirir o alimento após alguns dias da colheita. Por isso as indústrias alimentícias estão à procura de processos que aumentem a vida útil dos alimentos. O gengibre é um desses alimentos e está cada vez mais presente na alimentação da população. Pesquisadores têm estudado a aplicação do ultrassom na desidratação osmótica desses alimentos, combinando essas técnicas, com o propósito de aumentar a eficiência da desidratação osmótica, reduzir gastos e aumentar a vida útil dos alimentos. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da aplicação do ultrassom de alta intensidade na desidratação osmótica do gengibre em uma solução osmótica de sacarose. Para o desenvolvimento do trabalho foi determinada a densidade e o calor específico das soluções de sacarose nas concentrações de 10% a 60% ($m \cdot m^{-1}$) na faixa de temperatura entre 0°C e 90°C, que variaram entre 970,77 a 1191,08 $kg \cdot m^{-3}$ e 2,89 a 4,11 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$. Cinco modelos matemáticos foram elaborados, entre eles modelo linear, quadrático e exponenciais, posteriormente foram ajustados aos dados de densidade e calor específico, porém, o modelo que variou linearmente em função da concentração e quadraticamente em função da temperatura apresentou melhor ajuste em ambas as propriedades. As potências reais aplicadas ao meio foram determinadas por meio do método calorimétrico, obtendo-se um fator de conversão de 30%. Por meio dos experimentos de desidratação osmótica do gengibre, com e sem a aplicação do ultrassom de alta intensidade, foi possível verificar que aplicação do ultrassom auxilia na perda de umidade, perda de água e no ganho de sólidos.

Palavras-chave: Desidratação osmótica, gengibre, sacarose, técnicas combinadas, ultrassom de alta intensidade.

ABSTRACT

Fresh food, such as fruit and vegetables, are highly perishable and often leave customers unhappy for they have to buy the product days after it was harvested. Therefore, the food industry is always searching for processes that enhance products' shelf life. Ginger is one of these products and its presence in our regular diet is increasing. Researchers have been studying the application of ultrasound to osmotic dehydration - called combined techniques - with the objective of increasing the efficiency of osmotic dehydration, cutting costs and enhancing the product's shelf life. This study aimed at checking the influence of applying high intensity ultrasound to the osmotic dehydration of ginger in a sucrose osmotic solution. Thus, the density and the specific heat of the sucrose osmotic solutions were determined, at concentrations of 10% to 60% ($m \cdot m^{-1}$), in a temperature range of 0°C and 90°C; the values varied from 970.77 to 1191.08 $kg \cdot m^{-3}$ and from 2.89 to 4.11 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$. Five mathematical models were elaborated, among them linear, quadratic and exponential models, later they were adjusted to the data of density and specific heat; the best adjusted one for both properties was the model that varies linearly in function of concentration and quadratically in function of the temperature. The real potencies applied to the medium were determined through a calorimetric method resulting in a conversion rate of 30%. Through the osmotic dehydration experiments with ginger both applying the high intensity ultrasound and without applying the ultrasound, it was possible to verify that ultrasound application helps in the loss of moisture, loss of water and in the gain of solids.

Keywords: *Osmotic dehydration, ginger, sucrose, combined techniques, high intensity ultrasound.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Gengibre in natura (rizoma).	19
Figura 2- Três tipos de fluxo na desidratação osmótica.	22
Figura 3- Representação da frequência (f) e do comprimento de onda (λ).	25
Figura 4- Classificação do ultrassom conforme a frequência.	26
Figura 5 - Banho ultrassônico.....	28
Figura 6 - Modelos de sondas ultrassônicas.	29
Figura 7- Fatiador elétrico (marca Eco).....	32
Figura 8- Gengibre fatiado.	32
Figura 9- Processador ultrassônico.....	33
Figura 10- Posicionamento do termopar na estrutura de nylon.....	37
Figura 11- Arranjo experimental para a determinação da potência real.....	37
Figura 12- Posicionamento do ultrassom na cuba.	38
Figura 13 - Aplicação de ultrassom sobre a fatia de gengibre.....	40
Figura 14- Variação de temperatura durante a aplicação do ultrassom na solução de sacarose.....	52
Figura 15 - Cinética da perda de umidade na desidratação osmótica com $P_N = 320 \text{ W}$ e $T = 28^\circ\text{C}$	54
Figura 16 - Cinética da perda de água na desidratação osmótica com $P_N = 320 \text{ W}$ e $T = 28^\circ\text{C}$	55
Figura 17 - Cinética do ganho de sólidos na desidratação osmótica com $P_N = 320 \text{ W}$ e $T = 28^\circ\text{C}$	55
Figura 18 - Teor de umidade em função do tempo durante a desidratação osmótica do gengibre em uma solução osmótica de 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) a 28°C	57
Figura 19 - Perda de água em função do tempo durante desidratação osmótica do gengibre em solução concentrada a 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) a 28°C	58
Figura 20 - Ganho de sólidos em função do tempo durante desidratação osmótica do gengibre em uma solução concentrada a 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) a 28°C	60
Figura 21 - Modelo de Peleg aplicado aos dados dos testes preliminares para a determinação da umidade de equilíbrio. Legenda: (Δ) solução de sacarose 10% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$), (\circ) solução de sacarose 20% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) e (+) solução de sacarose 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$).	61

Figura 22 - Modelo de Peleg para a determinação da umidade de equilíbrio do experimento definitivo 1. Legenda: Aplicação de ultrassom de (●) 30% (120 W), (◆) 40% (160W), (■) 50% (200 W) e (▲) 0% (0W).	62
Figura 23 - Modelo de Peleg para a determinação da umidade de equilíbrio do experimento definitivo 2. Legenda: Aplicação de ultrassom de (●) 30% (120 W), (◆) 40% (160W), (■) 50% (200 W) e (▲) 0% (0W).	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise centesimal do gengibre <i>in natura</i>	20
Tabela 2 - Modelos matemáticos genéricos utilizados para ajustar os dados experimentais de densidade e calor específico das soluções de sacarose em função da temperatura e concentração de sólidos.	35
Tabela 3 - Densidade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de soluções de sacarose em concentrações de 10 a 60% e em temperatura de 0 a 90°C.	45
Tabela 4 - Densidade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de soluções de sacarose em concentrações de 10 a 60% e em temperatura de 0 a 90°C.	46
Tabela 5 - Calor específico ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$) de soluções de sacarose em concentrações de 10 a 60% e em temperatura de 0 a 90°C.	48
Tabela 6 - Calor específico ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$) de soluções de sacarose em concentrações de 10 a 60% e em temperatura de 1 a 90°C.	49
Tabela 7 - Parâmetros dos modelos estudados para a determinação da densidade e calor específico.	51
Tabela 8 – Potência real acústica da solução de sacarose a 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) tratada com potência nominal de 30% (120 W), 40% (160 W) e 50% (200 W).....	53
Tabela 9- Média e desvio padrão do teor de umidade (b.u) em função do tempo durante a desidratação osmótica do gengibre em uma solução osmótica de 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) a 28°C.....	57
Tabela 10 - Perda de água durante desidratação osmótica do gengibre em solução concentrada a 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) a 28°C.	57
Tabela 11 - Ganho de sólidos durante desidratação osmótica do gengibre em uma solução concentrada a 30% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) a 28°C.	60
Tabela 12 -Parâmetros determinados a partir do modelo de Peleg para a determinação da umidade de equilíbrio dos testes preliminares.	62
Tabela 13 - Parâmetros determinados com base no modelo de Peleg para a determinação da umidade de equilíbrio dos experimentos definitivos de desidratação osmótica.....	63
Tabela 14 - Determinação dos coeficientes de difusão da água para os testes preliminares de desidratação osmótica de gengibre a 28 °C e $P_N=320$ W.....	64

Tabela 15 - Determinação dos coeficientes de difusão da água para os experimentos definitivos de desidratação osmótica do gengibre em uma solução osmótica de sacarose a 30% ($m \cdot m^{-1}$) e a 28 °C.	65
---	----

LISTA DE SIMBOLOS

f	Frequência
I	Intensidade
P	Potência
A	Área da superfície do emissor
P_R	Potência real
ρ	Densidade
V	Volume de solução
C_p	Calor específico da solução
dT/dt	Gradiente de temperatura
D_s	Deslocamento vertical entre as curvas das amostras e a curva do material de referência a uma dada temperatura
W_s	Massa da amostra
θ	Fluxo de calor
A, B e C	Constantes dos modelos matemáticos
¥	Propriedade termofísica estudada (C _p ou ρ)
T	Temperatura da solução
X	Concentração da solução
R	Constante universal dos gases
R²	Coefficiente de determinação
EMR	Erro Médio Relativo
V_{exp.}	Valor experimental da propriedade termofísica
V_{cal.}	Valor calculado da propriedade termofísica através do modelo
N	Número de dados experimentais
PA	Perda de água
U_i	Umidade inicial
U_f	Umidade final
M_i	Massa inicial
M_f	Massa final
GS	Ganho de sólidos
Ms_t	Matéria seca no tempo t
Ms_i	Matéria seca inicial

X_t^w	Umidade da amostra no tempo (t)
X_0^w	Umidade da amostra no tempo (t=0)
t	Tempo de processo
k_1^w	Parâmetro 1 do modelo de Peleg
k_2^w	Parâmetro 2 do modelo de Peleg
dx^w/dt	Taxa inicial de transferência de massa da água
X_∞^w	Umidade de equilíbrio
MR	Umidade residual
U_i	Umidade inicial da amostra
U_t	Umidade da amostra no tempo t
U_e	Umidade de equilíbrio
n	Número de termos da série
L	Espessura da amostra
D_{efw}	Coefficiente de difusão da água
P_N	Potência nominal
D_{ef}	Coefficiente de difusão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Gengibre.....	19
3.1.1 Introdução	19
3.2 Desidratação osmótica	21
3.2.1 Introdução	21
3.2.2 Representação do fenômeno de desidratação osmótica de vegetais	22
3.2.3 Variáveis do processo	23
3.2.3.1 Tipos de agentes osmóticos.....	23
3.2.3.2 Concentração	23
3.2.3.3 Temperatura	24
3.3 Ultrassom	24
3.3.1 Introdução	24
3.3.2 Parâmetros ultrassônicos	25
3.3.2.2 Intensidade	26
3.3.2.3 Potência	26
3.3.3 Classificação dos ultrassons	27
3.3.4 Fenômenos causados pela aplicação do ultrassom	27
3.3.5 Equipamentos de ultrassom de potência.....	28
3.3.5.1 Banhos ultrassônicos	28
3.3.5.2 Sistemas de sondas	29
3.3.6 Determinação da potência real acústica absorvida pela solução osmótica	30
3.3.7 Desidratação osmótica e ultrassom	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Material.....	32
4.1.1 Gengibre.....	32
4.1.2 Soluções de sacarose	32
4.1.3 Descrição do equipamento ultrassônico.....	33

4.2 Métodos.....	33
4.2.1 Determinação das propriedades termofísicas das soluções de sacarose	33
4.2.1.1 Densidade	33
4.2.1.2 Calor específico.....	34
4.2.1.3 Modelagem matemática das propriedades termofísicas das soluções de sacarose.....	35
4.2.2 Determinação da potência real acústica absorvida pela solução osmótica	36
4.2.3 Desidratação osmótica	38
4.2.3.1 Testes preliminares	38
4.2.3.2 Experimentos definitivos de desidratação osmótica	39
4.2.4 Métodos analíticos	40
4.2.4.1 Determinação da umidade	40
4.2.5 Análises dos dados	40
5 RESULTADOS	42
5.1 Caracterização da solução osmótica de sacarose	42
5.1.1 Densidade	42
5.1.2 Calor específico.....	46
5.2 Determinação da potência real acústica	52
5.3 Desidratação osmótica	54
5.3.1 Testes preliminares	54
5.3.2 Experimentos definitivos de desidratação osmótica	56
5.4 Modelagem matemática	61
6 CONCLUSÃO.....	66
7 TRABALHOS FUTUROS	67
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE A.....	75
APÊNDICE B.....	78

1 INTRODUÇÃO

O nível de perecibilidade dos alimentos é um fator considerável para os fornecedores e indústrias alimentícias já que a produção de cada determinado alimento é concentrada em específicas regiões e necessita-se abastecer as demais.

Entre os vários alimentos que passam por essa situação, encontra-se o gengibre, alimento perecível devido ao elevado teor de umidade ($78,89 \text{ g}_{\text{água}} \cdot \text{g}_{\text{gengibre}}^{-1}$) (USDA, 2018).

Usualmente o gengibre é aplicado como condimento, com sabor característico picante e refrescante, na produção de bolos, bolachas, bebidas, temperos de carnes, chás, pastilhas, gengibre glaceado e em conserva.

Dadas as dificuldades de se manter um alimento conservado na prateleira por um longo tempo devido sua a perecibilidade, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas com base em combinações de técnicas como, por exemplo, o pré tratamento de desidratação osmótica combinado com a aplicação de ultrassom, visando à obtenção de produtos com menores níveis de perecibilidade.

A desidratação osmótica é um pré tratamento usado na conservação de alimentos, que consiste na imersão do alimento em uma solução osmótica e, por meio de diferença de potencial químico e as consequentes transferências de massas, obtém-se o resultado de perda de água e ganho de soluto. Atualmente técnicas combinadas de desidratação osmótica convencional e aplicação do ultrassom têm sido empregadas na busca de melhores resultados na cinética da desidratação.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência da aplicação do ultrassom de alta intensidade na desidratação osmótica do gengibre em uma solução osmótica de sacarose. Para tanto, foram determinados parâmetros como a densidade e o calor específico para a caracterização da solução de sacarose, cujos resultados têm ampla aplicação em diversos processos alimentícios, e também para a determinação da potência real aplicada ao meio. O ultrassom auxilia na perda de água e no ganho de sólidos durante a desidratação osmótica do gengibre, isso pode ser de grande interesse para as indústrias que trabalham com a secagem de alimentos juntamente com o pré tratamento de desidratação osmótica, pois este complemento no pré tratamento irá gerar redução de tempo de processamento e talvez até mesmo reduzir gastos.

25% ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$) e a 30°C , que apresentou coeficiente de difusão de água de $1,53\cdot 10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{min}^{-1}$ no experimento sem a aplicação de ultrassom e de $1,64\cdot 10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{min}^{-1}$ e $1,78\cdot 10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{min}^{-1}$ nos experimentos com a aplicação de ultrassom de 20 kHz e 40 kHz, respectivamente (GARCIA-NOGUEIRA et al., 2010).

Ozuna et al. (2013) apresentaram o mesmo comportamento do coeficiente de difusão da água na desidratação osmótica de carne de porco em soluções saturadas de cloreto de sódio com e sem aplicação de ultrassom. O coeficiente de difusão da água foi de $0,62\cdot 10^{-10}$ para o experimento sem aplicação de ultrassom e de $1,09\cdot 10^{-10}$ para o experimento com aplicação de ultrassom.

6 CONCLUSÃO

As soluções de sacarose foram caracterizadas experimentalmente por meio da determinação da densidade e do calor específico em uma ampla faixa de concentração e temperatura. Entre os cinco modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de ambas as propriedades, o modelo que varia linearmente com a concentração e quadraticamente com a temperatura foi o modelo que teve o melhor ajuste aos dados, com um EMR $< 1,0$. Os dados experimentais obtidos têm grande utilidade na indústria, desde aplicações para projeções de equipamentos até para determinar o comportamento da solução em um dado processo.

Foi determinada a potência real acústica absorvida pela solução osmótica de sacarose ($30\% \text{ m}\cdot\text{m}^{-1}$) que obteve um fator de conversão de aproximadamente 30%. Isto mostra a necessidade de se determinar a potência real acústica, já que a maior parte da energia acústica não se propaga no meio.

Para os testes preliminares de desidratação osmótica do gengibre, conclui-se que a solução de maior concentração ($30\% \text{ m}\cdot\text{m}^{-1}$) apresentou maior influência na perda de água e ganho de sólidos.

Para os experimentos definitivos de desidratação osmótica do gengibre com soluções osmótica de sacarose na concentração de 30% e a 28°C , conclui-se que a aplicação de ultrassom influencia na cinética da perda de água e do ganho de sólidos.

Nos testes preliminares foi apresentado um maior coeficiente de difusão da água para a desidratação osmótica do gengibre em uma solução de maior concentração ($30\% \text{ m}\cdot\text{m}^{-1}$). Já para os experimentos definitivos de desidratação

osmótica do gengibre os maiores coeficientes de difusão da água foram determinados nos experimentos com aplicação do ultrassom.

7 TRABALHOS FUTUROS

- Trabalhar com uma quantidade maior de amostras;
- Elaboração de uma estrutura para o posicionamento das fatias de gengibre de uma maneira que elas não fiquem sobrepostas uma sobre a outra;
- Trabalhar com uma espessura maior da fatia de gengibre;
- Utilizar uma sonda ultrassônica com vários pontos de distribuição de ultrassom ou um banho ultrassônico;
- Aplicar menores potências nominais ao meio osmótico durante a desidratação osmótica do gengibre.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAÃO, A. S.; LEMOS, A. M.; VILELA, A.; SOUSA, J. M.; NUNES, F. M. Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. **Food and Bioproducts Processing**, v. 9, n. 1, p. 481– 494, 2013.

ALI, A.; BIDHURI, P.; MALIK, N. A.; UZAIR, S. Density, viscosity, and refractive index of mono-, di-, and tri-saccharides in aqueous glycine solutions at different temperatures. **Arabian Journal of Chemistry**, p. 1-11, 2014.

AOAC. **Official methods of analysis international**. 16 th. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists International, 1997.

Archer, D. G. Thermodynamic Properties of Synthetic Sapphire (α -Al₂O₃), Standard Reference Material 720 and the Effect of Temperature-Scale Differences on Thermodynamic Properties. **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, v. 22, n. 6, p. 1441-1453, 1993.

ASSIS, M. M. M.; LANNES, S. C. S.; TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Influence of temperature and concentration on thermophysical properties of yellow mombin (*Spondias mombin*, L.). **European Food Research and Technology**, v. 223, p. 585–593, 2006.

ASTM-E1269. Standard test method for determining specific heat capacity by differential scanning calorimetry. West Conshohocken: ASTM Internacional, 2005.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.291-295, 2004.

BERLAN, J.; MASON, T. J. Dosimetry for power ultrasound and sonochemistry. In MASON T. J. (Ed.). **Advances in sonochemistry**. London: JAI Press Inc, 1996. v. 4, p. 1–73.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena**, 2nd ed. New York, John Wiley and Sons, 2001.

CÁRCEL J. A.; BENEDITO J.; BON, J.; MULET A. High intensity ultrasound effects on meat brining. **Meat Science**, v. 76, p. 611–619, 2007a.

CÁRCEL J.A.; BENEDITO J.; ROSSELLÓ C.; MULET A. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 472–479, 2007b.

CÁRCEL, J. A. **Influencia de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de material**. 2003. 318 (PhD). Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2003.

CÁRCEL, J.A.; GARCÍA-PÉREZ, J.V.; BENEDITO, J.; MULET, A. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 200–207, 2012.

CARVALHO, G. **Influência da aplicação de ultrassom em desidratação osmótica de carne bovina**. 2014. 58 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2014.

CASTILHOS, M. B. M.; BETIOL, L. F. L.; CARVALHO, G. R.; TELIS- ROMERO, J. Experimental study of physical and rheological properties of grape juice using different temperatures and concentrations. Part I: Cabernet Sauvignon. **Food Research International**, v. 100, p. 724–730, 2017.

CASTILHOS, M. B. M.; BETIOL, L. F. L.; CARVALHO, G. R.; TELIS- ROMERO, J. Experimental study of physical and rheological properties of grape juice using different temperatures and concentrations. Part II: Merlot. **Journal Food Research International**, v. 105, p. 905–912, 2018.

CASTRO, L; CAPOTE, F.P. Introduction: Fundamentals of Ultrasound and Basis of its Analytical Uses. In: CASTRO, L; CAPOTE, F.P. **Analytical Applications of Ultrasound**. 1 st ed. Elsevier, 2007. v. 26, p.1-34.

COIMBRA, L. M. P. L., ARRUDA, H. A. S., MACHADO, E. C. L., SALGADO, S. M., ALBUQUERQUE, S. S. M. C., ANDRADE, S. A. C. A. Water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of sapodilla (*Achras zapota L.*). **Ciência Rural**, v.47, n.8, p. 1-7, 2017.

CONSTENLA, D. T.; LOZANO, J. E.; CRAPISTE, G. H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal Food Science**, v. 54, n. 3, p. 663-668, 1889.

CORRÊA, J. L. G.; RASIA, M. C.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A. Influence of ultrasound application on both the osmotic pretreatment and subsequent convective drying of pineapple (*Ananas comosus*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 284–291, 2017.

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

DARROS - BARBOSA, R.; BALABAN, M. O.; TEIXEIRA, A. A. Temperature and Concentration Dependence of Density of Model Liquid Foods. **International Journal of Food Properties**, v. 6, n. 2, p. 195–214, 2003.

DEVIC, E.; GUYOT, S.; DAUDIN, J.D.; BONAZZI C. Kinetics of polyphenol losses during soaking and drying of cider apples. **Food and Bioprocess Technology**, v.3, n. 6, p. 867-877, 2010.

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

FARHANINEJAD, Z.; FATHI, M.; SHAHEDI, M.; SADEGHI, M. Osmotic dehydration of banana slices using direct and indirect sonication: optimization and microstructure analysis. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, p. 1-10, 2017.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M.I.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 186–190, 2009.

FERNANDES, F. A. N.; OLIVEIRA, F. I. P.; RODRIGUES S. Use of Ultrasound for Dehydration of Papayas. **Food Bioprocess Technology**, v. 1, p. 339–345, 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 261–267, 2007.

GALEANO, E. A. V.; BORGES V. A. J; OLIVEIRA, L. R; CHIPOLESCH, J. M. A. **Síntese da Produção Agropecuária do Espírito Santo 2013/2014**. Vitória: Incaper, 2016. p 51-60.

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

GARCIA-NOGUERA, J.; OLIVEIRA, F. I. P.; GALLÃO, M. I.; WELLER, C. L.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pre treatment time and ultrasonic frequency. **Drying Technology**, v. 28, n. 2, p. 294–303, 2010.

GARZA, S.; IBARZ, A. Effect of temperature and concentration on the density of clarified pineapple juice. **International Journal of Food Properties**, v. 13 n. 4, p. 913–920, 2010.

GERMER, S. P. M.; de QUEIROZ, M. R.; AGUIRRE, J. M.; BERBARI, S. A. G.; ANJOS, V. D. Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p. 161–169, 2011.

GOVINDARAJAN, V. S. Ginger-Chemistry, Technology and Quality Evaluation: Part I. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 17, p. 98, 1982.

GOULA, A. M.; KOKOLAKI, M.; DAFTSIU, E. Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. **Food and Bioproducts Processing**, n. 1, v. 5, p. 157–170, 2017.

GUNDURAO A.; RAMASWAMY H. S.; AHMED J. Effect of Soluble Solids Concentration and Temperature on Thermo-Physical and Rheological Properties of Mango Puree. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 5, p. 1018-1036, 2011.

HAWKES, J.; FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of process variables on the quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.

HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Sciences des Aliments**, v.10, n.4, p.831-847, 1990.

KOBUS, Z.; KUSINSKA, E. Influence of physical properties of liquid on acoustic power of ultrasonic processor. **Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa**, v. 8, p. 71-78. 2008.

KUTTRUFF, H. **Ultrasonics: Fundamentals and Applications**. London: Elsevier Science Publishers Limited, 1991.

LANA, M.M.; CASALI, V.W.D.; FINGER, F.L.; REIS, F.P. Avaliação da conservação pós-colheita de rizomas de gengibre. **Horticultura Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 139-141, 1993.

LAZARIDOU, A.; BILIADERIS, C. G.; BACANDRITSOS, N.; SABATINI, A. G. Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. **Journal Food Engineering**, v. 64, p. 9–21, 2004.

LECH, K.; MICHALSKA, A.; WOJDYLO, A.; NOWICKA, P.; FIGIEL, A. The influence of physical properties of selected plant materials on the process of osmotic dehydration. **LWT - Food Science and Technology**, v. 91, p. 588–594, 2018.

LEIGHTON, T. G. The principles of cavitation. In: M. J. W. Povey & T. J. Mason (Eds.), **Ultrasound in Food Processing**. London: Chapman & Hall, 1998. p. 151–182.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v. 14 n. 2, p. 391-413, 1996.

LINGYU YU; GIURGIUTIU, V. Multi-mode Damage Detection Methods with Piezoelectric Wafer Active Sensors. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, v. 20, n. 11, p. 1329-1341, 2009.

LORENZETTI, E. R. **Cultivo de Gengibre**. Disponível em: <<http://www.portaldahorticultura.xpg.com.br/Cultivogengibre.pdf>>. Acesso em: 20 de julho, 2018.

MARTIN, K.; RAMNARINE, K. Chapter 2 – Physics. In: HOSKINS P.; MARTIN K.; THRUSH A. **Diagnostic Ultrasound – Physics and Equipment**. 2 nd. New York: Cambridge University Press, 2010. p. 4- 22.

MASON, T. J.; LORIMER, J. P. **Applied sonochemistry: the uses of power ultrasound in chemistry and processing**. Weinheim; Wiley-VCH Verlag, 2002. 303 p.

MCCLEMENTS, D. J.; GUNASEKARAN, S. Ultrasonic characterization of foods and drinks: Principles, methods, and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 37, n. 1, p. 1-46, 1997.

MCDONNELL, C. K.; LYNG, J. G.; ARIMI, J. M.; ALLEN, P., The acceleration of pork curing by power ultrasound: A pilot-scale production. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 26, p. 191-198, 2014.

MENDONÇA, K. S; CORRÊA J. L. G; JUNQUEIRA J. R. J; PEREIRA M. C. A; VILELA, M. B. Optimization of Osmotic Dehydration of Yacon Slices. **Drying Technology: An International Journal**, v.34, n. 4, p. 1-31, 2015.

MERCALI, G.D.; MARCZAK, L.D.F.; TESSARO, I.C.; NOREÑA, C.P.Z. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **LWT Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 82-91, 2011.

MULET, A.; BENEDITO, J.; BON, J.; SANJUÁN, N. Low intensity ultrasonics in food technology. **Journal of Food Engineering**, v. 5, n. 4, p. 285-297, 1999.

MULET, A.; CÁRCEL J. A.; SANJUÁN N.; BON, J. New Food Drying Technologies – Use of Ultrasound. **Food Science and Technology International**, p. 1-8, 2003.

MUNDADA, M., HATHAN, B.S. & MASKE, S. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pomegranate arils. **Journal of Food Science**, v.76, p.31–39, 2011.

NAGAY, L. Y. **Desidratação osmótica de manga cv. palmer em solução de sacarose com e sem adição de ácido ascórbico**. 2012. 112 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2012.

OZUNA, C.; PUIG, A.; GARCÍA-PEREZ, J. V.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural

properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. **Journal of Food Engineering**, v. 119, p.84–93, 2013.

PALHARIN, L.H.D.C; FIGUEIREDO, N.E; CAMARGO, L.M.P; BOSQUÊ G.G. Estudo sobre gengibre na medicina popular. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 14, 2008.

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

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Manual de Engenharia Química**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986.

PINGRET, D.; FABIANO-TIXIER, A. S.; BOURVELLEC, C. L.; RENARD, C. M. G. C.; CHEMAT, F. Lab and pilot-scale ultrasound-assisted water extraction of polyphenols from apple pomace. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 73-81, 2012.

PINJARI, D. V.; PANDIT, A. B. Cavitation milling of natural cellulose to nanofibrils. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 17, p. 845-852, 2010.

POINTING, J. D.; WATTERSS, G. G.; FORREY, R. R.; STANGLY, W. L.; JACKSON, R. Osmotic dehydration of fruits. **Journal Food Science and Technology**, v. 20, n. 10, p.125-128, 1996.

POLACHINI, T. C.; BETIOL, L. F. L.; BASTOS, M. G.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Boiling point and specific heat of meat extract. **International Journal of Food Properties**, p. 1-11, 2017.

POLACHINI, T. C.; CARVALHO, G. R.; TELIS-ROMERO, J. Determination of acoustic fields in acidic suspensions of peanut shell during pretreatment with high-intensity ultrasound. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 2, p. 385-394, 2017.

QUEJI M. F. D; PESSOA L. S. Influência do tratamento osmótico na produção de tomate desidratado. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 5, n. 1, p. 282-292, 2011.

RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A; GUILBERT, S. Recent Advances in Dewatering Trough in Concentrated Solutions (“Osmotic dehydration”). In: MUJUMDAR A. S. **Drying of Solids**. New York: International Science Publisher, 1992. p. 21-51.

RASO, J.; MANÃS, P.; PAGÁN, R.; SALA, F. J. Influence of different factors on the output power transferred into medium by ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 5, n. 4, p. 157-162, 1999.

RAVENTÓS, M.; HERNÁNDEZ, E.; AULEDA, J.; IBARZ, A. Concentration of aqueous sugar solutions in a multi-plate cryoconcentrator. **Journal Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 577-585, 2007.

REQUENA, D. S. J. **Caracterización del sistema de aplicación de ultrasonidos sin contacto directo de um secadero piloto de liofilización a presión atmosférica.**

2016. 40 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Politécnica de Valência. Valência, 2016.

RUCKER, N. G. A.; SERPE ELPO, E. R.; GIROTTO, A. Gengibre: Aspectos econômicos da cultura do gengibre. In: SILVA, R. R. M.; BIANCHINI V.; ALMEIDA H. G.; SIMIONI F. C. **Análise da Conjuntura Agropecuária SAFRA 2007/2008**. Curitiba: SEAB, 2007.p. 70-79.

SANTOS, C. de N. P. dos. **Elaboração de um estruturado de polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv *Tommy Atkins*) parcialmente desidratada por osmose**. 2003. 79 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Campinas, 2003.

SERWAY, R.A. **Física 2 – Movimento Ondulatório e Termodinâmica**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996. p. 22-29.

SILVA, W. P.; MATA, M. E. R. M. C.; SILVA, C. D. P. S.; GUEDES, M. A.; LIMA, A. G. B. Determinação da difusividade e da energia de ativação para feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade sempre-verde, com base no comportamento da secagem. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 325-333, 2008.

SILVEIRA, M. S. **Efeitos da desidratação osmótica e desidratação osmótica assistida por ultrassom na secagem convectiva de cenoura (*Daucus carota* L.)**. 2014. 102 p. Dissertação (doutorado em Engenharia de Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SIMAL, S.; BENEDITOH, J.; SANCHEZ, E. S.; ROSSEM, C. Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.36, p. 323–336, 1998.

SIQUEIRA, L. P. **DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA A PRESERVAÇÃO DO GENGIBRE**. 2014. 109 p. Tese (doutorado em Nutrição) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SOUZA, E. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, J. E. A.; LEMOS, D. M. Thermophysical properties of the pequi pulp in different concentrations. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 20-28, 2016.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Influence of temperature and concentration on thermophysical properties of caja juice (*Spondia mombin*, L). **Eurotherm Seminar 77 – Heat and Mass Transfer in Food Processing**, 2005.

TAYLOR, S. **Advances in Food and Nutrition Research**. 1st ed. London: Elsevier Academic Press, 2004. v. 48, 297 p.

TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J.; Mazzotti, H.B.; GABAS, A. L. Viscosity of Aqueous Carbohydrate Solutions at Different Temperatures and Concentrations. **International Journal of Food Properties**, v. 10, p. 185–195, 2007.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 4, p. 509-517, 2007.

URIBE, E.; MIRANDA, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; QUISPE, I.; CLAVERÍA, R.; DI SCALA, K. Mass transfer modelling during osmotic dehydration of jumbo squid (*Dosidicus gigas*): influence of temperature on diffusion coefficients and kinetic parameters. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 2, p. 320-326, 2011.

USDA. United States Department of Agriculture. National Agriculture Library. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em: < <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/>>. Acesso em: 11 de setembro de 2018.

UTPALENDU, J.; CHATTOPADHYAY, R.N.; PRASAD, S.B. Preliminary studies on anti-inflammatory activity of *Zingiber officinale* Roscoe, *Vitex negundo* Linn and *Tinospora cordifolia* (Willid) Miers in albino rats. **Indian Journal of Pharmacology**, v.31, n.3. p. 232-233, 1999.

WHO. **Monographs on selected medicinal plants**. v. 1. Geneva, 1999. p. 277-287.

YADAV, A. K., SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p.1654 – 1673, 2012.

ZURITZ, C. A.; PUNTES, M. E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ E. H. A.; GASCÓN, A.; RUBIO, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. **Journal Food Engineering**, v. 71, p. 143-149, 2005.