



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

EDILENE SOUZA DA SILVA

INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM E VÁCUO NA SECAGEM DA NECTARINA
(Prunus persica L.)

Recife

2018

EDILENE SOUZA DA SILVA

INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM E VÁCUO NA SECAGEM DA NECTARINA (*Prunus persica* L.)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de concentração: Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Linha de pesquisa: Processos Químicos Industriais.

Orientadora: Profa. Dr^a Patrícia Moreira Azoubel.

Coorientador: Prof. Dr^o Antonio Carlos Duarte Coêlho.

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S586i Silva, Edilene Souza da.
Influência do ultrassom e vácuo na secagem da nectarina (*Prunus persica* L.) / Edilene Souza da Silva. - 2018.
71 folhas, il., tabs., abr. e sigl.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Moreira Azoubel.
Coorientador: Prof. Dr^º Antonio Carlos Duarte Coêlho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia Química. 2. Secagem. 3. Ultrassom. 4. Vácuo. 5. Nectarina. 6. Cinética. 7. Bioativos. I. Azoubel, Patrícia Moreira (Orientadora). II. Coêlho, Antonio Carlos Duarte (Coorientador). III. Título.

UFPE

660.2 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-370

EDILENE SOUZA DA SILVA

INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM E VÁCUO NA SECAGEM DA NECTARINA (*Prunus persica* L.)

Dissertação ou Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: 19 / 07 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Moreira Azoubel (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Otidene Rossiter Sá da Rocha (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Yêda Medeiros Bastos de Almeida (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Fernanda Araújo Honorato (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a minha amada mãe, que mesmo com os percalços causados pela saudade e a distância, sempre esteve presente através do seu apoio e carinho. Ao meu querido pai (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em meio ao desconhecido e as dificuldades, me guiou, deu ânimo e colocou tantas pessoas maravilhosas no meu caminho.

A minha mãe, pelo incentivo, carinho e dedicação.

As minhas irmãs, Eliane e Edleide, e sobrinha Deborah, pelo apoio sempre.

A minha orientadora Prof^a Dr^a Patricia Azoubel por me aceitar como orientanda e me conceder a alegria de participar e aprender com ela e sua equipe, bem como, pela confiança e dedicação na realização desse trabalho.

Ao meu coorientador Prof^o Antônio Carlos Coêlho, por partilhar conhecimento e por sua dedicação a pesquisa.

À coordenação, Priscila e Flavio, e aos grandes docentes do Curso de Pós-graduação em Engenharia Química da UFPE.

Ao Departamento de Engenharia de Química da UFPE pela concessão da infraestrutura para realização dos experimentos.

Aos técnicos Ana Maria e Chesque Galvão, pelas colaborações e por sempre estarem dispostos a ajudar.

À CAPES, por viabilizar esta pesquisa através da concessão de bolsas de estudos.

Aos companheiros de pesquisa e laboratório, Zilmar Pimenta, Rafael Medeiros, Marina Barros, Edivaldo Silva, Shirley Brandão, Amanda Silva, pela solidariedade e motivação, por me proporcionarem tanto aprendizado.

Aos companheiros de turma João Henrique, Naiana Santana e Joanna Cysneiros, pela amizade e força, por estarem sempre à disposição nos momentos de aflição.

As amigas Patricia Rocha, Tássia Fernandes, pela amizade e companheirismo.

As companheiras de pesquisa da UFRN, Kátia Borges, Francisca Moraes e Juliana Chris, pelo companheirismo e pelos ensinamentos, como também pela importância de vocês no meu engajamento na pesquisa.

A Prof^a Dr^a Roberta Targino, por propiciar meus primeiros passos na pesquisa, tenho grande apreço pela pessoa e profissional que ela é.

A todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para tornar possível a finalização de mais essa etapa em minha vida.

Obrigada!

RESUMO

A nectarina (*Prunus persica* L.) é excelente fonte de potássio, vitamina A e B, e compostos bioativos, como fenólicos e carotenoides. É uma fruta que, devido à sua sazonalidade e à sua alta perecibilidade, requer formas de elevar sua vida útil. A remoção de água dos alimentos é um processo histórico de conservação que vem criando alternativas para aprimorar e desenvolver produtos de qualidade. A secagem convectiva é bastante utilizada, mas por apresentar longos tempos de processo e, conseqüentemente, demandar custos energéticos, pode implicar em um processo oneroso. Numa tentativa de aperfeiçoar a secagem, o uso do ultrassom e/ou vácuo pode ser uma alternativa para redução do tempo de operação e da perda de nutrientes. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de ondas ultrassônicas e do vácuo, combinados ou não, quanto à cinética de secagem e ao impacto em termos de qualidade da fruta. A secagem da nectarina foi realizada na temperatura de 60°C através das seguintes técnicas: secagem assistida por ultrassom (US), secagem a vácuo (VC), secagem assistida por ultrassom e vácuo (USVC) e secagem controle (CONT). Os coeficientes de difusividade efetiva foram calculados por meio do modelo difusivo baseado na Lei de Fick. Seis modelos de camada fina foram utilizados para ajuste aos dados experimentais de secagem. A aplicação da técnica USVC resultou em uma cinética de secagem com maior taxa e menor tempo de processo (270 minutos). A difusividade efetiva da água variou de $2,88 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $10,91 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, indicando sua elevação ao ser empregado o vácuo. O modelo Exponencial de Dois Termos obteve o melhor ajuste aos dados experimentais, com os maiores coeficientes de determinação (R^2) e menor desvio relativo. Em relação às análises de qualidade, verificou-se que o uso do ultrassom (US e USVC) teve forte influência na obtenção das maiores retenções de bioativos (capacidade antioxidante, polifenóis e carotenoides). O uso do vácuo (VC e USVC) resultou em menores diferenças de cor das amostras processadas em relação à fruta fresca, e também em menor consumo energético. O efeito sinérgico a partir do uso combinado do ultrassom e vácuo apresentou bons resultados, podendo contribuir para produção de frutas secas de qualidade e com menor consumo energético.

Palavras-chave: Secagem. Ultrassom. Vácuo. Nectarina. Cinética. Bioativos.

ABSTRACT

Nectarine (*Prunus persica* L.) is an excellent source of potassium, vitamin A and B, and bioactive compounds such as phenolics and carotenoids. It is a fruit that because of its seasonality and its high perishability requires ways of raising its useful life. The removal of water from food is a historical process for its conservation and has created alternatives to improve and develop quality products. Convective drying is widely used, but because it presents long process time and, consequently, demands energy costs, it can imply an onerous process. In an attempt to improve drying, the use of ultrasound and/or vacuum can be an alternative to reduce processing time and nutrient loss. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of ultrasonic waves and vacuum, combined or not, on the drying kinetics and the impact in terms of fruit quality. Drying of nectarine was carried out at 60°C using the following techniques: ultrasonic assisted drying, vacuum drying (VC), ultrasonically assisted vacuum drying (USVC) and control drying (CONT). The coefficients of effective diffusivity were calculated by means of the diffusive model based on Fick's Law. Six thin layer models were used to adjust to the experimental drying data. The application of the USVC technique resulted in a higher drying rate and a shorter processing time (270 minutes). The effective diffusivity of water varied from $2.88 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ to $10.91 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, indicating its elevation when the vacuum was employed. The Two-terms Exponential model obtained the best fit of the experimental data, with the highest coefficient of determination (R^2) and the lower relative deviation. Regarding the quality analyzes, it was verified that the use of ultrasound (US and USVC) had a strong influence in obtaining the highest bioactive retention (antioxidant capacity, polyphenols, and carotenoids). The use of vacuum (VC and USVC) resulted in lower color differences of the processed samples in relation to fresh fruit, and also in lower energy consumption. The synergic effect of the combined use of ultrasound and vacuum showed good results, which can contribute to the production of dried fruits with good quality and with lower energy consumption.

Keywords: Drying. Ultrasound. Vacuum. Nectarine. Kinetics. Bioactive.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Nectarina.....	18
Figura 2 –	Morfologia da Nectarina	19
Figura 3 –	Curvas características de secagem	24
Figura 4 –	Cavitação acústica ultrassônica.....	29
Figura 5 –	Tipos de equipamentos de ultrassom. (a, b) banhos ultrassônicos; (c) sonda ultrassônica; e, (d) unidade baseada em sonda ultrassônica continua	30
Figura 6 –	Fluxograma Experimental	37
Figura 7 –	Fluxograma para secagem da nectarina	39
Figura 8 –	Adimensional de umidade (ADM) em função do tempo na secagem da nectarina nos métodos: secagem controle; secagem com ultrassom; secagem a vácuo; secagem ultrassom com vácuo.....	45
Figura 9 –	Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental da nectarina seca utilizando o modelo Exponencial Dois termos	49
Figura 10 –	Resultados para os parâmetros de cor da nectarina in natura (1); Secagem controle (2); Secagem com ultrassom (3); Secagem à vácuo (4) e ultrassom com vácuo (5)	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Composição nutricional da nectarina com valores por 100g.....	20
Tabela 2 –	Modelos matemáticos para cinética de secagem	27
Tabela 3 –	Parâmetros dos modelos ajustados aos dados de secagem da nectarina	48
Tabela 4 –	Valores da difusividade efetiva (<i>Def</i>) para nectarine nos diferentes métodos de secagem	50
Tabela 5 –	Valores médios de atividade de água (<i>Aw</i>) da nectarina <i>in natura</i> e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo	51
Tabela 6 –	Valores médios para cor da nectarina <i>in natura</i> e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo	52
Tabela 7 –	Conteúdo médio em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para atividade antioxidante (DPPH) da nectarina <i>in natura</i> e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo	55
Tabela 8 –	Conteúdo médio em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para compostos fenólicos totais (CFT) da nectarina <i>in natura</i> e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo	57
Tabela 9 –	Conteúdo médio em massa seca (MS) e porcentagem de retenção de carotenoides da nectarina <i>in natura</i> e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo	58
Tabela 10 –	Rendimento médio da nectarina seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo	59

Tabela 11 – Consumo de energia durante a secagem da nectarina através dos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>A_w</i>	Atividade de água
<i>a</i> *	Intensidade da cor vermelha (+) e verde (-) da fruta pós secagem
<i>b</i> *	Intensidade da cor amarela (+) e azul (-) da fruta pós secagem
CONT	Secagem controle (uso apenas do banho, sem ultrassom e sem vácuo)
<i>D_{ef}</i>	Difusividade efetiva da água
EAG	Equivalentes de ácido gálico
kWh	Quilowatt-hora
<i>L</i> *	luminosidade da fruta pós secagem
MS	Massa seca
MU	Massa úmida
P	Erro médio relativo
EAR	Equivalente de atividade retinol
R ²	Coefficiente de determinação
US	Secagem com ultrassom
USVC	Secagem com ultrassom e vácuo
VC	Secagem a vácuo
ΔE	Diferença média de cor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	NECTARINA	18
3.2	COMPOSTOS BIOATIVOS.....	20
3.2.1	Capacidade antioxidante	20
3.2.2	Compostos fenólicos	21
3.2.3	Carotenoides	21
3.3	SECAGEM	22
3.3.1	Modelos matemáticos	25
3.3.2	Métodos de secagem	27
3.3.2.1	Secagem com ultrassom	27
3.3.2.2	Secagem a vácuo	33
3.3.2.3	Secagem com ultrassom e vácuo	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1	MATÉRIA-PRIMA.....	36
4.2	METODOLOGIA.....	36
4.3	SECAGEM	38
4.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE	40
4.4.1	Análises físico-químicas	40
4.4.1.1	Umidade	40

4.4.1.2	Atividade de água	40
4.4.1.3	Sólidos Solúveis (°Brix).....	40
4.4.1.4	Cor	41
4.4.2	Caracterização funcional	41
4.4.2.1	Aquisição dos extratos metanólicos	41
4.4.2.2	Atividade Antioxidante.....	42
4.4.2.3	Compostos fenólicos totais.....	42
4.4.2.4	Carotenoides	42
4.5	RETENÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS	43
4.6	RENDIMENTO.....	43
4.7	CONSUMO ENERGÉTICO	43
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	SECAGEM	45
5.1.1	Cinética de secagem	45
5.1.2	Modelos de camada fina	47
5.1.3	Difusividade efetiva	50
5.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE	51
5.2.1	Atividade de água	51
5.2.2	Cor	52
5.2.3	Atividade antioxidante	54
5.2.4	Compostos fenólicos	56
5.2.5	Carotenoides	57
5.3	RENDIMENTO.....	59
5.4	CONSUMO ENÉRGICO	60

6	CONCLUSÕES	61
6.1	PERSPECTIVAS	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se em terceiro lugar na produção mundial de frutas, com aproximadamente 45 milhões de toneladas anuais, dentre as quais 65% são destinadas ao consumo interno e 35% ao mercado externo (EMBRAPA, 2017). Das frutas produzidas no mundo, em média, 10% é exportada e 90% consumida no próprio país, o que reflete em chance para fruticultura brasileira, que produz elevada abundância de espécies, em explorar mercados para as comercialmente preferidas, como também para nichos especiais (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2016).

Para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, a agroindústria é responsável por aproximadamente 6%, atuando no beneficiamento e transformação de produtos e no processamento de matérias-primas vindas da agropecuária, motivando, assim, uma interação entre o campo e a economia de mercado. A pesquisa agropecuária vem proporcionando soluções tecnológicas que resultam em produtos agroindustriais de maior qualidade e com alegação de saúde (EMBRAPA, 2017).

Estudos sobre estratégias de cultivo e controle de qualidade da nectarina têm sido realizados com intuito de confirmar e evidenciar seus atributos (LOPEZ *et al.*, 2016; XI *et al.*, 2017). A nectarina é uma variedade da espécie *Prunus persica*, que difere do pêssego por não apresentar pelo em seu fruto, e seu cultivo é característico de clima temperado (STEINBERG, 1989). Oriunda da China, no Brasil seu plantio é mais expressivo nas regiões sul e sudeste. Em sua composição contém alto teor de potássio, vitamina A e B (BRASIL, 2015), como também de compostos bioativos, como fenólicos, vitamina C e carotenoides (ELSADR e SHERIF, 2016). Devido às perdas pós-colheita, técnicas de conservação também são alvos de pesquisas numa tentativa de elevar a vida útil dessa fruta sazonal (CHEN, ZHANG e YANG, 2013; GONÇALVES *et al.*, 2010).

Um histórico método de conservação é a desidratação, que é uma importante ferramenta para a produção de vários alimentos. Das diversas técnicas existentes, a secagem convectiva é bastante utilizada pela sua simplicidade (SILVA e CORRÊA, 2005). Entretanto, a exposição do alimento ao ar quente por longos períodos pode levar à degradação parcial ou total de nutrientes e a mudanças nas características sensoriais do produto (MEGÍAS-PÉREZ *et al.*, 2014). Ainda, como

o processo de secagem é longo, isso faz com que o mesmo demande custos energéticos (ONWUDE *et al.*, 2016).

Pesquisas em métodos para a secagem, como o uso do ultrassom, têm surgido e demonstrado um potencial promissor no processamento de alimentos, como por exemplo, sua utilização pode elevar a transferência de massa. Já foram constatados resultados satisfatórios através do processo combinado com a secagem convectiva, como obtenção de menor tempo de secagem e a redução na perda de nutrientes (FAN, ZHANG e MUJUMDAR, 2017).

O vácuo aplicado na tecnologia de alimentos difundiu-se como estratégia eficiente, trazendo bons resultados no que diz respeito a conservação de alimentos. Uma alternativa apropriada principalmente a produtos sensíveis as perdas pelo calor, como verduras e frutas, e que associado a secagem pode, além de melhor preservar as características bioativas e físico-químicas, reduzir o tempo de processo (MENDONÇA *et al.*, 2017) e, conseqüentemente, seu consumo energético (CHEN, GUO e WU, 2016).

O emprego combinado do vácuo e ultrassom vem sendo evidenciado por poder elevar a taxa de secagem e beneficiar a qualidade do produto, podendo ainda ser aplicado como alternativa na redução do tempo e na eficiência energética da secagem (TEKIN *et al.*, 2017). No entanto, estudos sobre a aplicação do ultrassom e do vácuo, ambas as técnicas combinadas, na secagem de vegetais são raros. Dessa forma, com o intuito de estudar uma alternativa na redução das perdas pós-colheita da nectarina, este trabalho teve como objetivo a avaliação da influência de ondas ultrassônicas e vácuo, combinadas ou não, no processo de secagem e seu impacto em características de qualidade da fruta.

2 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos. Como descritos a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do uso do ultrassom e do vácuo, combinados ou não, na secagem da nectarina, bem como o impacto desses processos em características físico-químicas e compostos bioativos da fruta.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar e estudar as cinéticas da secagem da nectarina sem e com o uso de ultrassom e vácuo, combinados ou não, utilizando modelos de camada fina;
- Analisar a influência das diferentes técnicas no tempo de secagem da nectarina;
- Avaliar os efeitos do uso do ultrassom e/ou vácuo na secagem da nectarina em características físico-químicas e compostos bioativos da fruta;
- Avaliar o desempenho das técnicas de secagem em termos de rendimento e consumo energético.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica está descrita a seguir a partir dos tópicos mais notáveis com suas subdivisões. Iniciando com uma revisão bibliográfica sobre a nectarina, seguido dos compostos bioativos e finalizando com a secagem.

3.1 NECTARINA

A nectarina (*Prunus persica* L.) é uma espécie frutífera adaptada a climas temperados, da família *Rosaceae*. No outono tem seu crescimento estagnado, quando ocorre uma preparação para resistir às baixas temperaturas do inverno, sendo essa etapa denominada de dormência (BRASIL, 2015). Sua necessidade do frio em horas se dá de acordo com a variedade da espécie, podendo suportar de 100 até 1000 horas em temperaturas inferiores ou iguais a 7,2°C, sendo a variedade Cascata muito exigente e a Rubrosol pouco exigente (STEINBERG, 1989).

De hábitos vegetativos e de cultivo idêntico ao de um pessegueiro, difere do pêssego pela ausência de pilosidade (epiderme glabra) na sua casca, como mostra a Figura 1, e por apresentar maior taxa de sólidos solúveis (BRASIL, 2015).

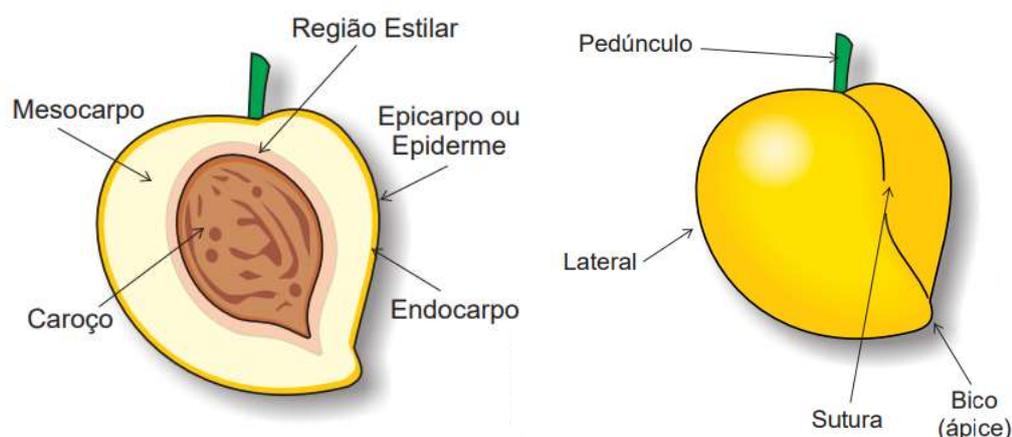
Figura 1 – Nectarina



Fonte: QUEEN VICTORIA MARKET (2017).

Essa característica de pilosidade do pêssego não é desenvolvida na nectarina devido a uma mutação genética que provocou a presença do gene recessivo. Sua morfologia é do tipo drupa (Figura 2), ou seja, com mesocarpo carnoso, não dividido em gomos, endocarpo espesso, e contendo caroço, no qual abriga uma única semente (PBMH & PIF, 2008).

Figura 2 - Morfologia da Nectarina.



Fonte: PBMH & PIF (2008).

As principais cultivares de nectarina cultivadas no Brasil são:

- Centenária (IAC N 2080-7): com peso médio (100 g) e polpa amarelo-clara;
- Aurojima (IAC N 2680-91): com peso de médio a grande (125 g) e polpa amarela;
- Colombina (Fla 1937-S): com peso de médio a grande (125 g) e polpa amarela;
- Sunred (Universidade da Flórida/USA): com peso médio (50 a 80 g) e polpa amarela clara, também conhecida como Rubrosol.

A colheita ocorre comumente de setembro a fevereiro, todavia no Estado de São Paulo, boa parte é feita de agosto a novembro (AGUIAR *et al.*, 2014). Entretanto essa sazonalidade pode variar entre os países produtores.

No ranking de cultura frutífera mais importante economicamente da União Europeia, após o primeiro lugar das maçãs, a nectarina está em seguida, junto com o pêssego. Quanto à liderança de produção, a China está no topo, e na sequência estão Espanha, Estados Unidos e Itália. A nectarina possui, além de fibras dietéticas, elevado teor de compostos bioativos, como os fenólicos, ácido ascórbico, carotenoides e antocianinas (ELSADR e SHERIF, 2016). Alguns desses compostos são constituídos a partir de micronutrientes, como os apresentados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Composição nutricional da nectarina com valores por 100g.

Macronutrientes		Micronutrientes			
		Vitaminas		Minerais	
Energia (kcal)	44	Vitamina A (EAR) (μ g)	16,58	Cálcio (mg)	6
Proteína (g)	1,06	Vitamina B1 (mg)	0,03	Magnésio (mg)	9
Lipídios totais (g)	0,32	Vitamina B2 (mg)	0,03	Fósforo (mg)	26
Carboidrato (g)	10,55	Vitamina B3 (mg)	1,13	Ferro (mg)	0,28
Fibra alimentar total (g)	1,7	Vitamina E (mg)	0,7	Potássio (mg)	201
		Vitamina C (mg)	5,4	Cobre (mg)	0,09
				Zinco (mg)	0,17

Fonte: IBGE (2011).

Os compostos bioativos presentes nos alimentos proporcionam resultados fisiológicos benéficos, relacionando alegação de saúde e prevenção de doenças.

3.2 COMPOSTOS BIOATIVOS

A perceptível popularidade de compostos bioativos tem aumentado em razão de uma maior procura por alimentos vegetais, resultado de causas religiosas, éticas ou sociais, provocando o não consumo de produtos de origem animal. Os produtos bioativos oriundos de frutas têm apresentado boa aceitação devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade. Os compostos bioativos nas frutas possuem atuações benéficas como ação anti-inflamatória, antimicrobiana e anticancerígena, como também imunoestimuladora e antioxidante (ELSADR e SHERIF, 2016).

3.2.1 Capacidade antioxidante

Processos fisiológicos oxidativos como a respiração e diversas outras reações, tem sua execução nas células aeróbicas e como produto os radicais livres. Esses radicais são reativos patogênicos causadores de danos ao sistema biológico, que também, colaboram para acelerar o mecanismo de envelhecimento. O que explica a dependência da capacidade antioxidante de proteção contra os efeitos danosos dessas espécies reativas do oxigênio, inevitavelmente oriundas da vida aeróbica. Para esse amparo ser eficiente, há um sistema antioxidante interligado nos tecidos compondo um arranjo de vários elementos, os compostos bioativos. Entre eles os lipofílicos como carotenoides e a vitamina E, os hidrofílicos como a vitamina C e polifenóis, e os enzimáticos como

a catalase. Há absorção dos radicais livres pelos agentes antioxidantes, que bloqueiam o início ou cessam o desenvolvimento das reações de oxidação (SILVA *et al.*, 2010).

Logo, a presença de vitaminas e minerais nos vegetais possui ação protetora e tem seu resultado atribuído a atuação antioxidante dos fitoquímicos. Nos alimentos, esses compostos estão presentes em poucas quantidades e além de nutrir são essenciais para manter a saúde (BARROS *et al.*, 2017). Os constituintes antioxidantes mais conhecidos por prevenir doenças são carotenoides, vitamina C e polifenóis (em especial os flavonóides) (MATIAS *et al.*, 2014).

3.2.2 Compostos fenólicos

Nas plantas há duas formas de metabólitos, são eles os primários e os secundários. Os primários são responsáveis pela preservação e desenvolvimento, e os secundários estão fortemente ligados a função de defesa. Os metabólitos secundários se dividem em compostos com nitrogênio, terpenos, taninos e polifenóis (SILVA *et al.*, 2010). Os fenóis livres e taninos podem reagir com proteínas e diversos constituintes citoplasmáticos. Com possibilidade da reação seguinte a essa (proteínas-fenóis) conferir sabor, aroma e aparência de chá, café ou cerveja (ELSADR e SHERIF, 2016).

São por volta de 9000 as substâncias identificadas dentre os polifenóis catalogados, divididos quanto à sua estrutura química em flavonóides e não flavonóides. Além da ação antioxidante, esses compostos podem conferir efeitos anti-inflamatórios, e também, reduzir as chances do surgimento de doenças como câncer, catarata, cardiovasculares e degeneração macular (BARROS *et al.*, 2017). Bem como, inibir a agregação de plaquetas no sangue, diabetes, ação de vírus e alergênicos, produto da bioatividade devido seu caráter antioxidante (CEVALLOS-CASALS e CISNEROS-ZEVALLOS, 2010).

3.2.3 Carotenoides

Os carotenoides são compostos pigmentares naturais de maior relevância na alimentação por seus benefícios à saúde. Responsáveis por conferir a cor amarela, laranja ou vermelha em vários alimentos, possuem estruturas químicas e funções variadas. Todavia, esses micronutrientes estão presentes em baixos teores (microgramas por grama). Alguns deles possuem ação pró-vitáminica A, também auxiliam na manutenção do sistema imunológico e agem na inibição de doenças degenerativas. Já foram catalogados mais de 650 carotenoides naturais diferentes, dentre os quais

por volta de cem são descritos em alimentos. O β -caroteno e o licopeno, são os carotenoides hidrocarboneto chamados de xantofilas, tem funções químicas oxigenadas. Dentre os componentes oxigenados mais comuns estão a β -criptoxantina (grupo hidroxila), a cantaxantina (grupo ceto), a violaxantina (grupo epóxido) e a β -citraurina (grupo aldeído) (RODRIGUES-AMAYA, KIMURA e AMAYA-FARFAN, 2008).

Quanto a bioacessibilidade, em média, as xantofilas são mais bioacessíveis que carotenos, podendo ocorrer variações conforme a estrutura. Dentre as características químicas que afetam a bioacessibilidade e biodisponibilidade, incluem algumas como a solubilidade, conformação isomérica e peso molecular. Incluir um elemento lipídico na elaboração de alimentos contribui para elevar a bioacessibilidade dos carotenoides (BARBA *et al.*, 2017).

A nectarina, por ser bastante suscetível a doenças fúngicas, é altamente perecível e, por isso, necessita de estratégias para elevar sua vida de prateleira (CHEN, ZHANG e YANG, 2013). Sendo assim, numa tentativa de reduzir as perdas pós-colheita, o processo de secagem se mostra como alternativa de preservar atributos, como os bioativos da fruta, pela inibição de processos de degradação (EMBRAPA, 2018).

3.3 SECAGEM

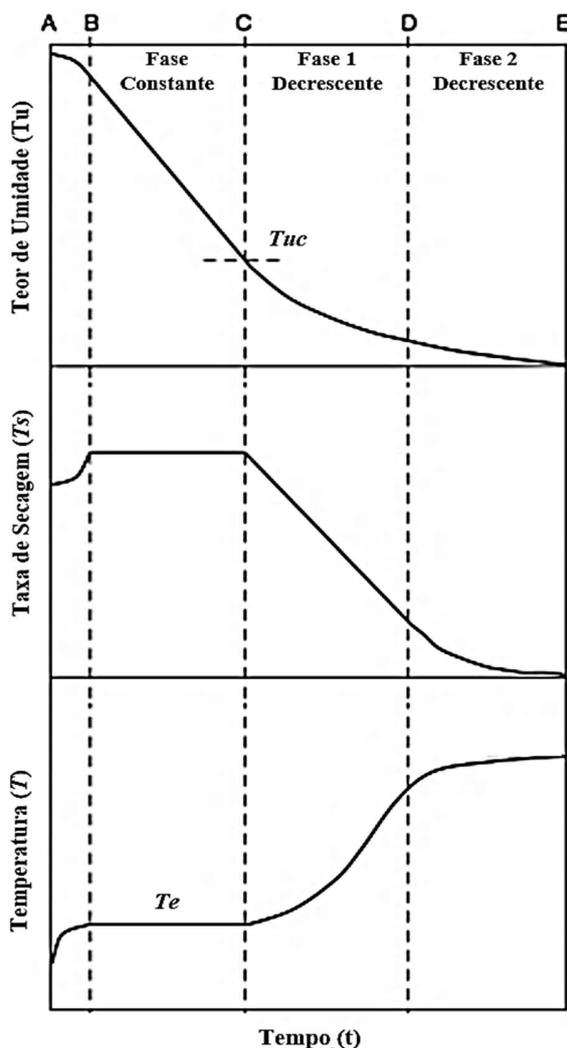
O processo de secagem está baseado no transporte simultâneo de calor e massa entre o alimento e o ar de secagem e consiste na retirada de água em excesso no interior do alimento através da evaporação, impulsionada por convecção forçada. Tem ampla utilização nas indústrias, com o intuito tanto de contribuir para o aumento da vida útil dos alimentos, como também fazer com que esses alimentos sejam transportados e armazenados sem a necessidade de refrigeração. Além disso, ao diminuir a umidade, há a redução da atividade de água e, conseqüentemente, há inibição no crescimento de microrganismos e retardo na degradação do alimento (OLIVEIRA e SANTOS, 2015).

A cinética de secagem permite avaliar a velocidade de perda de água do alimento, ou seja, como varia a diminuição de umidade no decorrer do tempo de processo. A cinética depende das variáveis que controlam o ar de secagem, bem como da matriz do alimento (CELESTINO, 2010).

Os fatores de influência na secagem de frutas e legumes são a temperatura, a velocidade e umidade relativa do ar, a dimensão e forma do material. As com maior influência são a espessura do material e temperatura de secagem. Já a umidade relativa e a velocidade do ar são fatores de

menor influência para a cinética de secagem de produtos agrícolas. É notório que a maior parte dos vegetais são secos empregando o conceito de camada fina, o que significa que o tamanho do material é diminuído a dimensões que admitirão distribuição uniforme da temperatura e do ar de secagem em toda extensão do material. Dentre os mecanismos de secagem de alimentos estão a difusão de superfície, difusão de vapor ou líquido e ação de capilares interna a região porosa dos alimentos. A difusão é o mecanismo predominante na remoção de umidade de vegetais e frutas. A taxa de difusão é dependente da umidade e natureza do material. Na Figura 3 está representada a umidade, a temperatura e a taxa de secagem em função de tempo. Através desta curva é possível identificar o mecanismo dominante na secagem do material (ONWUDE *et al.*, 2016).

Figura 3 - Curvas características de secagem.



Fonte: ONWUDE et al. (2016).

Inicialmente a temperatura de equilíbrio do ar (T_e) é maior que a do material, assim a medida que a temperatura do produto vai aumentando, a taxa de secagem entre A e B também aumenta até o equilíbrio, seguida da fase inicial de taxa constante (entre B e C). Nessa fase a trajetória da umidade é controlada pelas resistências internas e/ou externas à transferência de massa e calor. O material tem seu formato afetado, em especial sua superfície, e é controlado por capilares e forças gravitacionais. O material pode ser afetado nessa fase pela umidade relativa e velocidade do ar, bem como a temperatura. A fase 1 de taxa decrescente (C a D) inicia quando a superfície do material está aparentemente seca e sua umidade reduz para o teor crítico (T_{uc}). E com o seguimento da secagem o material passará a fase 2 (D e E) de taxa decrescente até o término do processo

(INYANG, OBOH e ETUK, 2018; ONWUDE *et al.*, 2016). O processo secagem envolve fenômenos bem complexos que podem ser descritos por modelos matemáticos.

3.3.1 Modelos matemáticos

A modelagem matemática constitui o desempenho de um método através de equações, diferenciais ou não, com capacidade de descrever o processo adequadamente. Os modelos matemáticos conseguem prever processos reais com a identificação de componentes importantes para o sistema, considerando suas interações, e, portanto, possibilitando a resolução (FLECK, TAVARES e EYNG, 2013). O uso dos modelos consiste em uma ferramenta de importância para o estudo cinético da secagem que contribui para a dedução dos fenômenos do processo.

Em virtude da complexidade dos fenômenos no processo de secagem, esse fato levou pesquisadores a sugerirem variadas hipóteses e múltiplas expressões empíricas para prever a taxa de processo, como a Teoria Difusional. Essa teoria tem respaldo exclusivo na lei de Fick e explica que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Assim, ao utilizar a lei de Fick, a expressão do balanço de massa de água no interior da amostra (PARK; YADO; BROD, 2001) é:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef} \nabla X) \quad (1)$$

Onde: X é o conteúdo de umidade (kg de água.kg⁻¹ massa seca);

t é o tempo (s);

D_{ef} é a difusividade da água (m²/s).

Para a secagem considerando o sistema de coordenadas cartesianas e com direção unidirecional em uma placa plana de espessura $2l$, tem-se que:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (2)$$

Com: Umidade inicial uniforme: $t = 0$; $X = X_0$,

Umidade máxima no centro: $t > 0; z = 0; \frac{\partial X}{\partial z} = 0$,

Umidade constante na superfície: $t = 0; z = l; X = X_e$

E resolvendo:

$$X = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l X(z, t) dz \quad (3)$$

Onde: l é trajeto da difusão (m);

z é a direção da transferência (m).

Foi fornecido por Crank (1979) a solução analítica da equação da difusão de massa considerando as variadas geometrias na fase de taxa decrescente. A geometria de placa plana é largamente utilizada para estimar a difusividade da água em vegetais. Logo para essa geometria a solução para a segunda lei da difusão de Fick é:

$$ADM = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n + 1)^2 \pi^2} \exp \left\{ -D_{ef} (2n + 1)^2 \pi^2 \frac{t}{l^2} \right\} \quad (4)$$

Onde: ADM é o adimensional de umidade;

X é a umidade média (kg água.kg⁻¹ massa seca);

X_e é o conteúdo de umidade de equilíbrio (kg água.kg⁻¹ massa seca);

X_0 é o conteúdo de umidade no instante inicial (kg água.kg⁻¹ massa seca);

n é o número de termos na série;

t é o tempo (s);

l é o comprimento característico ou semi-espessura da amostra (m);

A utilização de modelos empíricos também tem sido feita para descrever a cinética de secagem de vários produtos. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 2. E que podem ser aplicados a diferentes métodos de secagem, como os descritos nos tópicos a seguir.

Tabela 2 - Modelos matemáticos para cinética de secagem.

Modelo	Equação	Referências
Henderson e Pabis	$ADM = a \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Logaritmo	$ADM = a \exp(-kt) + c$	Yaldiz, Ertekin e Uzun (2001)
Exponencial dois termos	$ADM = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Ozdemir e Devres (1999)
Wang e Singh	$ADM = 1 + at + bt^2$	Wang e Singh (1978)
Page	$ADM = \exp(-kt^n)$	Madamba, Driscoll e Buckle (1996)
Exponencial Simples	$ADM = \exp(-kt)$	Abe e Afzal (1997)

Sendo: k , n , a , b , c , k_0 e k_1 são constantes dos modelos; t é o tempo de secagem (s).

3.3.2 Métodos de secagem

As frutas e hortaliças, ainda que muito perecíveis, são produtos de destaque industrial e comercial. São processadas com o objetivo de preservar suas características de qualidade, aumentar a vida útil e diminuir suas dimensões para beneficiarem o transporte (ONWUDE *et al.*, 2017).

As perdas pós-colheita são expressivamente elevadas variando de 20 a 40%, induzindo a grandes perdas econômicas. As culturas perecíveis são desidratadas não apenas para elevar sua vida útil, mas também promover a segurança alimentar. O teor de umidade é reduzido a teores em que as ações de contaminação e deterioração nos alimentos, pelos microrganismos, sejam inibidas, preservando assim o alimento (PRABHAKAR e MALLIKA, 2014).

É de grande importância descobrir metodologias alternativas e eficientes de conservação e transformação para reduzir danos, que resultem não apenas em produtos de qualidade, mas também que sejam produzidos com menor custo (DELGADO *et al.*, 2014).

3.3.2.1 Secagem com ultrassom

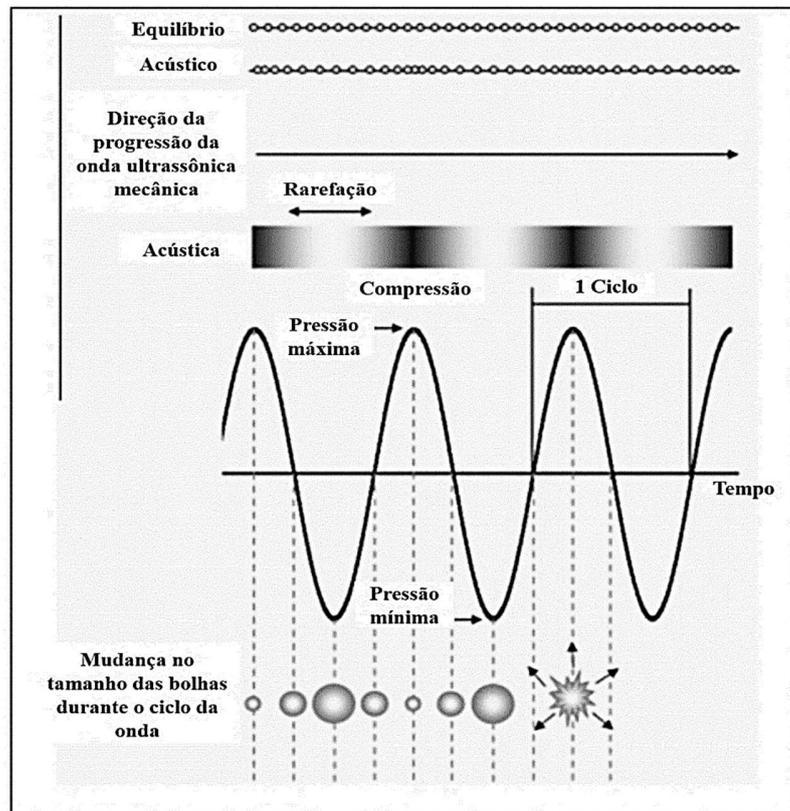
O ultrassom é uma tecnologia promissora, que é empregada no setor de cosméticos, químico, farmacêutico e alimentício, desde aproximadamente metade do século passado. Definido como ondas irradiadas com frequência além de 20 kHz, consegue se propagar por meios sólidos e fluidos, e podem apresentar baixa ou alta intensidade. O de baixa intensidade possui como característica níveis mínimos de potência, numa escala de $\leq 1 \text{ W.cm}^{-2}$, e elevadas frequências entre 0,1 a 20 MHz. Nessa condição não alteraram o sistema, revelando os ultrassons de baixa

intensidade como um interessante instrumento para aferir as características dos alimentos. Já o de alta intensidade tem como característica altos níveis de potência, numa escala de 10 a 1.000 W.cm⁻², e frequências mínimas $\leq 0,1$ MHz, o que pode provocar na matéria-prima adulterações físicas e químicas ao ser utilizado no processamento de produtos. A aplicação do ultrassom de elevada energia tem ampla utilidade, como a extração de proteínas, indução de reações de oxirredução, inativação e extração de enzimas, etc. Atualmente ainda não há no mercado alimento industrializado com essa tecnologia de preservação. Contudo, são empregados processos assistidos por ultrassom para transformações de produtos ou progressos de tecnologias existentes (CRUZ *et al.*, 2017).

O uso do ultrassom para desidratação de alimentos é geralmente realizado com frequências na faixa de 20–40 kHz. A combinação de secagem convectiva e o ultrassom podem levar ao uso de menores temperaturas, podendo ser favorável na desidratação de alimentos sensíveis a altas temperaturas como frutas e hortaliças. Sua energia pode desencadear mecanismos como: efeitos químicos, difusão, quebra mecânica, calor, etc. O ultrassom aplicado ao ar da secagem convectiva tem relação com seus efeitos mecânicos, podendo diminuir as resistências de transferência de massa externa e/ou interna sem a produção de elevada energia térmica (FAN, ZHANG e MUJUMDAR, 2017).

A difusão é substancialmente acelerada e a transferência de calor é elevada por volta de 30 a 60%, dependendo da intensidade da sonicação. Essa indução das ondas ultrassônicas provoca mudanças aceleradas, ciclos consecutivos de compressões e rarefações nas moléculas do alimento. Ocorre que a cada contração há colapso de microbolhas, é expelida uma pequena quantidade de água para a superfície do alimento, sendo evaporada ao entrar em contato com o fluxo de gás aquecido. Esse acontecimento de concepção, expansão e colapso é conhecido por cavitação acústica (Figura 4) (CHEMAT, ZILL-E-HUMA e KHAN, 2011; PICÓ, 2013; TIWARI, 2015).

Figura 4 - Cavitação acústica ultrassônica.



Fonte: PICO (2013).

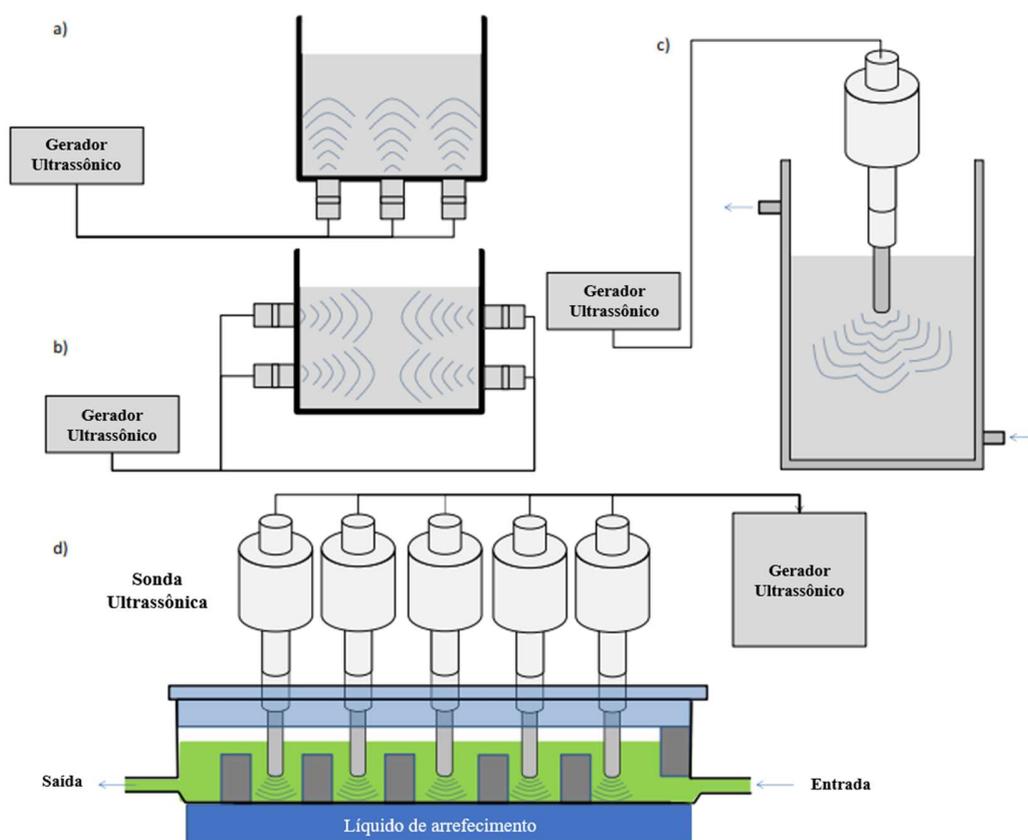
Atualmente, essa nova tecnologia verde chama atenção pelo seu desempenho quanto a sustentabilidade ambiental. Observada por propiciar águas residuais sem a necessidade de tratamento quando utilizada a sonicação em extrações, pois diminui o uso de solvente, bem como por um menor consumo de energia fóssil ao ser comparada a métodos convencionais de extração. O ultrassom pode ser aplicado baseado em três processos distintos (CHEMAT, ZILL-E-HUMA e KHAN, 2011):

- Emprego de forma direta ao produto;
- Conectado a um dispositivo;
- Imersão em banho ultrassônico.

Dentre os equipamentos ultrassônicos disponíveis, a principal distinção está nos seguintes componentes: concepção do gerador de energia, transdutor e o reator acoplado. O transdutor do ultrassom (design, formato e metodologia) é de grande relevância na definição de sua eficácia e rendimento. Normalmente são utilizados em laboratório equipamentos como o banho e a sonda

ultrassônica (Figura 5). O banho é mais utilizado para dispersão sólida, para eliminação de gás ou limpeza de materiais imersos, e menos para reações químicas, sendo ele de manuseio simples, baixo custo e capacidade de 10 a 2500 L. Seus transdutores estão nas paredes e/ou na base do reservatório, com a energia ultrassônica sendo propagada diretamente para o líquido. Comumente, este tipo de sonicação atua perto de 40 kHz e propaga elevadas intensidades em níveis fixos (SÃO JOSÉ *et al.*, 2014).

Figura 5 - Tipos de equipamentos de ultrassom. (a,b) banhos ultrassônicos; (c) sonda ultrassônica; e, (d) unidade baseada em sonda ultrassônica contínua.



Fonte: TIWARI (2015).

A sonda possui um sistema que conduz e amplifica a elevada potência de vibração ao meio, sistema esse visto como poderoso, pois a intensidade de sonicação é liberada de uma região pequena na extremidade da sonda, podendo ela ser imersa em frascos. Contudo, ela só pode ser usada para poucos volumes e pode ocorrer elevação rápida da temperatura na amostra (SÃO JOSÉ *et al.*, 2014).

Estudos sobre a influência do ultrassom na secagem de alimentos vêm sendo desenvolvidos e apresentando resultados satisfatórios, evidenciando assim seus benefícios ao ser aplicado ao processo.

Os efeitos do uso do ultrassom como pré-tratamento no aumento do transporte de massa da secagem convectiva de maçãs foram estudados por Nowacka *et al.* (2012). Utilizando a frequência de 35 kHz, nos tempos de 10, 20 e 30 minutos, ar de secagem na temperatura de 70°C e velocidade de 1,5 m/s. O pré-tratamento ultrassônico resultou em uma diminuição do tempo de secagem de 31-40%, como também maior encolhimento, menor densidade e maior porosidade, quando comparado com a amostra não pré-tratada. Ainda, observaram que longos períodos de aplicação do ultrassom podem influenciar a microestrutura e as propriedades de reidratação das maçãs.

Fernandes *et al.* (2015) examinaram o efeito da secagem (45 e 60 °C) do tomate cereja assistida por ultrassom (75 W; 21 kHz) nos teores de carotenoides e vitaminas B e E, bem como na difusividade da água. Os pesquisadores verificaram um aumento na difusividade efetiva de até 89% e diminuição do tempo de secagem ao ser usado o ultrassom. Adicionalmente, relataram que o uso do ultrassom também elevou a disponibilidade de vitaminas do complexo B, deteve carotenoides e vitamina E, quando executada a secagem a 45°C e 1 m/s.

Silva *et al.* (2016) avaliaram o uso combinado de técnicas como o ultrassom, vácuo e desidratação osmótica na secagem convectiva do melão. Os meios líquidos utilizados no estudo foram solução de sacarose e água destilada. O pré-tratamento foi realizado nos tempos de 10, 20 e 30 minutos e secagem a uma temperatura de 60°C e velocidade de 2 m/s. As mais rápidas taxas de secagem foram obtidas nas amostras que usaram o ultrassom e o processo combinado ultrassom e vácuo. E nessa última, os carotenoides totais e as características sensoriais foram melhor preservadas. A análise sensorial feita com a amostra pré-tratada foi bem aceita, que também obteve melhores resultados de textura e menor diferença de cor, não demonstrando diferenças expressivas quando comparada à amostra não pré-tratada.

Magalhães *et al.* (2017) avaliou a influência do uso combinado do ultrassom de forma indireta (banho) como pré-tratamento e o uso do ultrassom diretamente durante a secagem convectiva de maçãs. Os resultados apontaram que ambos os processos promovem a redução do tempo de secagem, onde a melhor condição foi obtida através da combinação do ultrassom como pré-tratamento com a secagem assistida por ultrassom, conferindo elevação da difusividade efetiva da água em até 93%.

Azoubel *et al.* (2010), em estudo sobre a cinética de secagem da banana Pacovan com amostras frescas e pré-tratadas com ultrassom, verificaram que as amostras que sofreram a aplicação do ultrassom e secagem obtiveram tempos de processamento mais curtos. Ainda, o estudo indicou que o modelo de Page obteve o melhor ajuste aos dados experimentais de secagem.

Gamboa-Santos *et al.* (2014) em estudo sobre a influência da temperatura (40, 50, 60, 70°C) e do uso do ultrassom (0, 30 e 60W) na secagem do morango verificaram que o uso da mais elevada potência e temperatura promoveu um menor tempo de processo. Os autores relataram que o emprego do ultrassom promoveu um aumento da difusividade efetiva e do coeficiente de transporte de massa, sendo menos pronunciado em altas temperaturas.

Romero e Yépez (2015) realizaram estudo da utilização de pré-tratamento com ultrassom na secagem por convecção de amora-preta, através da avaliação de fatores como temperatura do ar (40-60°C), tempo de aplicação (10-30 min) e intensidade de oscilação do ultrassom (0-90 μm), na cinética de secagem e fixação de antioxidante. Foi evidenciado que o tempo e a intensidade do ultrassom, quando aumentados, reduzem a atividade antioxidante da fruta, sendo a intensidade de vibração e a temperatura os fatores que mais comprometeram a secagem. O melhor resultado, na qual a taxa de secagem foi maior, foram das amostras pré-tratadas com ultrassom no período de 20 minutos, com intensidade de 90 μm e secas a 60°C.

Szadzińska, Kowalski e Stasiak (2016) pesquisaram a secagem convectiva de morangos utilizando micro-ondas e ultrassom combinados ou não. Avaliando o efeito dessas condições quanto a cinética de secagem, consumo energético e qualidade dos morangos secos. A secagem assistida por micro-ondas e ultrassom foi a mais eficiente na transferência de massa e calor, acelerando a taxa de secagem e reduzindo o consumo energético. O “efeito de aquecimento” das micro-ondas foi um limitador, comprometendo negativamente atributos como a cor. O ultrassom teve sua contribuição para o “efeito de vibração”, fator predominante para elevar a transferência de massa na secagem, o que ocasionou eficiência no processo devido as vibrações pulsadas originadas pelas ondas ultrassônicas.

Estudos realizados por Lins *et al.* (2017) com a secagem da nectarina utilizando a estufa e o secador de leito fixo demonstraram que a medida que se eleva a temperatura, mais acelerada é a secagem. Os processos de secagem apresentaram diferentes valores de tempo, indicando que o processamento no secador de leito fixo obteve os menores tempos, favorecendo assim uma maior preservação das características e compostos da fruta.

3.3.2.2 Secagem a vácuo

Os trabalhos experimentais com o vácuo tiveram início no século XVII com Evangelista Torricelli, inventor do barômetro de mercúrio, e com Otton Von Guericke, inventor, do barômetro de água e da primeira bomba de ar para produção de vácuo, sendo este último considerado pelos historiadores como “O pai da técnica de vácuo”. Servindo de inspiração para Boyle e outros ícones da ciência, entre os séculos XVIII e XIX foi criada uma faixa de pressão chamada de vácuo bruto. No século XX foram produzidos o vácuo fino e o alto vácuo, depois o medidor de vácuo de compressão por Herbert McLeod em 1876, seguido do medidor de vácuo térmico de Pirani. E assim o desenvolvimento dessa técnica foi se difundindo através dos séculos por nações como a antiga União Soviética e Japão, podendo assim caracterizar o estudo dessa ciência ao longo do tempo como trabalho de muitos estudiosos e nações (EDELMANN, 1996).

A principal função do vácuo nos processos térmicos é impedir reações indesejadas entre o oxigênio presente e os componentes da amostra. O uso do vácuo provoca abaixamento da pressão e permite um processo controlado com alta precisão. Fatores como pressão, tempo e temperatura do processo podem ser articulados para atender as especificidades da substância, e controlados conforme as suas propriedades com auxílio da curva de pressão de vapor (TECHNOLOGY FOCUS, 2015).

A redução da pressão do meio provoca obrigatoriamente diminuição do ponto de ebulição da água e isso pode ser vantajoso ao ser aplicado em um processo de retirada da água por ocasionar os seguintes benefícios:

- Possibilita a retirada de água de produtos sensíveis ao calor, como frutas e sucos, em menor temperatura;
- Possibilita o aumento da velocidade de evaporação com o aumento do gradiente de temperatura entre o meio e a amostra (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

Zecchi *et al.* (2011) pesquisaram uma tecnologia alternativa e econômica para desidratar cogumelos e salsinhas utilizando a combinação da secagem convectiva e vácuo, nas temperaturas de 35, 45 e 55°C e pressão de 28 mmHg. Os processos combinados obtiveram melhores ajustes aos

modelos teóricos, com o propósito de reduzir o tempo de secagem e impedir estragos ao produto seco. Para a salsa, o processo combinado na temperatura de 45°C obteve diminuições no tempo de secagem de 63%, quando comparado a secagem convectiva, e de 16% ao ser comparado com a secagem a vácuo. Já para o cogumelo, a mais apropriada foi a secagem por convecção na temperatura de 55°C, na qual reduziu o tempo de secagem sem maiores danos ao atributo visual do produto.

Zotarelli, Porciuncula e Laurindo (2012) avaliaram o emprego da secagem convectiva multli-flash (CMFD), que são pulsos de vácuo aplicados durante a secagem, no processamento de banana e manga. O processo CMFD (a 60°C) resultou em bananas e mangas secas com atividade de água, teor de umidade e características mecânicas equivalentes as de frutas liofilizadas. O uso dos pulsos de vácuo pôde proporcionar menores tempos de secagem e provavelmente menores custos que a liofilização, como também preservar a cor por usar temperaturas reduzidas.

Monteiro, Carciofi e Laurindo (2016) estudaram de forma comparativa técnicas para secagem da banana utilizando o micro-ondas com vácuo contínuo, com aplicação de pulsos sucessivos de vácuo (secagem multi-flash) e a liofilização. Os resultados apresentaram elevadas taxas de secagem ao utilizar maiores potências. As condições que utilizaram micro-ondas e vácuo apresentaram menores tempos de secagem e a possibilidade de produção bananas secas e crocantes, com grande potencial para produzir produtos a nível industrial.

Mendonça *et al.* (2017) pesquisaram o impacto da secagem convectiva e a vácuo em fatias de pequi com e sem pré-tratamento osmótico (solução de sacarose de 40% e 60%) em duas temperaturas distintas (40°C e 60°C). Os resultados apresentaram a secagem à vácuo sem pré-tratamento osmótico na menor temperatura como a melhor condição de processamento pelo menor tempo de secagem, maior retenção de ácido ascórbico e carotenoides, como também maiores níveis de reidratação e alterações mínimas de cor e menor encolhimento.

3.3.2.3 Secagem com ultrassom e vácuo

A combinação dos métodos de secagem ultrassom e vácuo ocasiona aceleração na taxa de secagem e menor tempo de processo. Tekin *et al.* (2017) estudaram a cinética de secagem e parâmetros de qualidade de vagem nas temperaturas 55, 65 e 75°C, utilizando os métodos: secagem convectiva (controle), secagem a vácuo e secagem com ultrassom e vácuo (USV). Dentre os métodos, a maior diferença de cor foi obtida para o USV e a menor para o vácuo, entretanto o USV

conferiu menor tempo de secagem. A secagem convectiva resultou em menores valores de difusividade.

Vantagens como o aumento da difusividade refletem em um menor custo do processo. Başlar, Kiliçli e Yalinkiliç (2015) avaliaram o método USV em termos de cinética de secagem de filetes de peixe, mais o uso de sete modelos de camada fina para ajuste aos dados experimentais de secagem nas temperaturas 55, 65 e 75°C. Foram obtidas altas difusividades, que aumentaram com o incremento da temperatura. O tempo de processo foi menor comparado à secagem controle e a secagem a vácuo, resultando em uma técnica mais econômica em relação ao controle.

Chen, Guo e Wu (2016) também relataram um menor consumo energético e maior taxa de processo com secagem USV em relação à técnica de secagem a vácuo em estudo com cenouras. Os parâmetros de qualidade como cor, potencial de reidratação e retenção de compostos bioativos foram predominantemente maiores com a secagem USV ao ser comparado ao com as cenouras secas a vácuo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no âmbito das instalações do Laboratório de Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia Química – Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) /Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

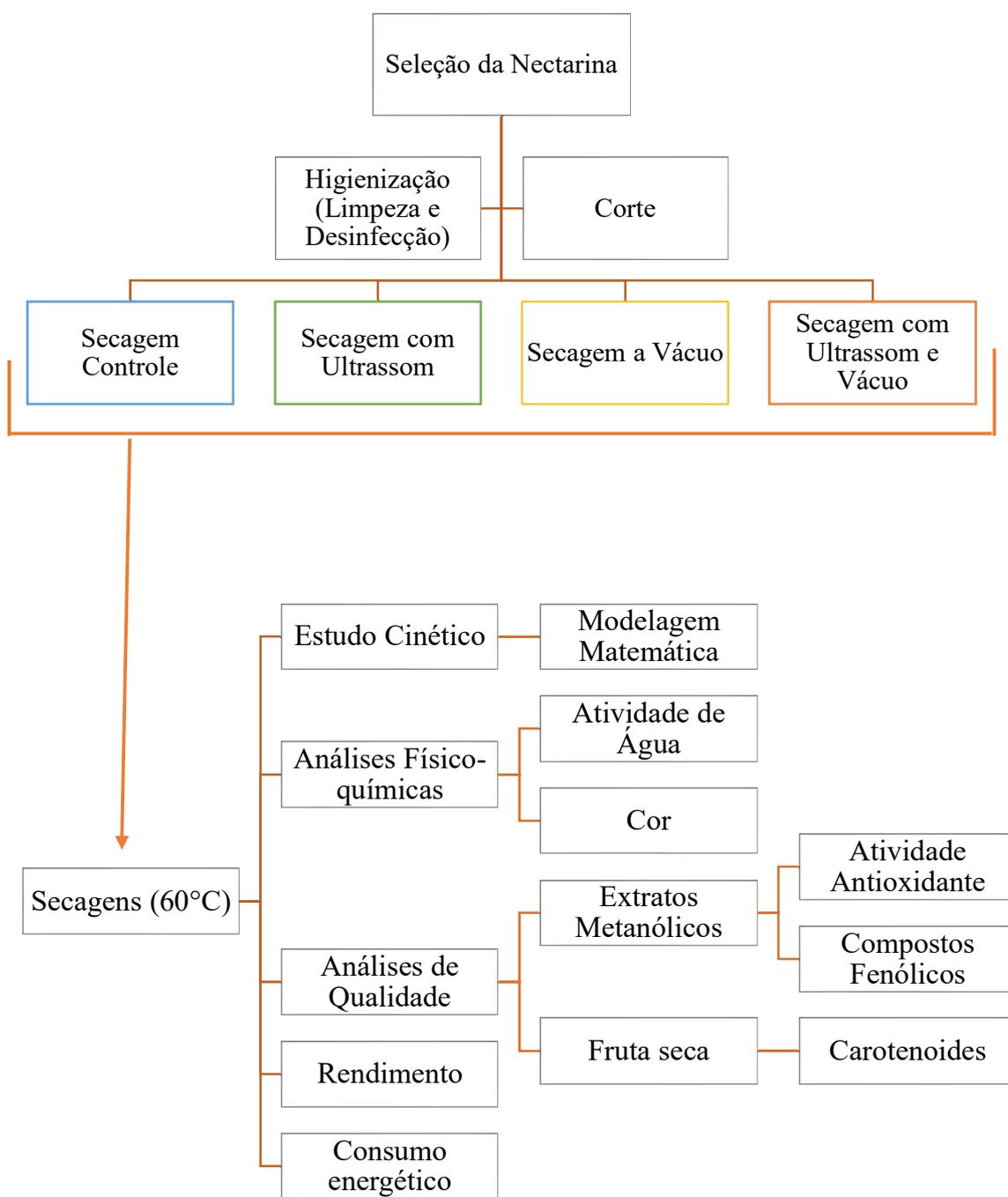
4.1 MATÉRIA-PRIMA

As nectarinas utilizadas na pesquisa, da variedade *sunred*, foram adquiridas no comércio local da cidade do Recife-PE. Foram usadas nos experimentos frutas com teor de sólidos solúveis entre 8 e 11°Brix, como utilizado por Araujo (2005), pois nessa faixa a polpa se mostrou firme ao ser submetida ao corte e sem injúrias de natureza patológica, mecânica ou fisiológica. Em um valor abaixo, há dificuldade de corte, e acima, a polpa perde a firmeza pelo o amadurecimento da fruta.

4.2 METODOLOGIA

As nectarinas foram inicialmente lavadas em água corrente e submersas durante 15 minutos em solução de cloro ativo com 150 mg.L⁻¹ de concentração, com posterior enxágue em água corrente. Foram realizados cortes longitudinais rente aos limites do caroço, para não o atingir, e conseguir obter maior aproveitamento da polpa. Em seguida, com o uso do cortador de aço inoxidável foi possível obter fatias (2,5 cm x 2,5 cm) com 0,5 cm de espessura, e que foram submetidas a secagem. A metodologia experimental executada neste trabalho está descrita no fluxograma a seguir (Figura 6):

Figura 6 - Fluxograma Experimental.



Fonte: A autora (2018).

4.3 SECAGEM

A secagem da nectarina foi realizada na temperatura de 60°C, utilizando quatro técnicas: secagem assistida por ultrassom e vácuo, secagem a vácuo, secagem com ultrassom e secagem controle (sem vácuo e ultrassom).

As amostras de nectarina foram acondicionadas em frasco cilíndrico de vidro hermeticamente fechado e imerso no banho ultrassônico (UNIQUE, modelo 1850A) com controle de temperatura e sem agitação mecânica. Para a secagem a vácuo, havia a conexão da bomba de vácuo ao frasco, sendo utilizada uma pressão de - 600 mm Hg. Já para as condições que faziam uso das ondas ultrassônicas, havia a ativação do ultrassom no banho com frequência e potência ultrassônica de 25 kHz e 154 W RMS, respectivamente. Para a secagem assistida por ultrassom e vácuo, ambos os dispositivos eram utilizados, enquanto a secagem controle foi realizada sem uso das ondas ultrassônicas e do vácuo, apenas utilizando o banho aquecido a 60°C. As amostras foram pesadas usando balança semi-analítica, em intervalos de tempo de 15 minutos na primeira hora e depois de 30 em 30 minutos até peso constante. A Figura 7 apresenta o esquema de processamento das amostras:

Figura 7- Fluxograma para secagem da nectarina.



Fonte: A autora (2018).

O estudo cinético foi feito a partir dos dados do adimensional de umidade em função do tempo de secagem. O modelo difusional e seis modelos de camada fina, descritos no item 3.2.1 foram utilizados para ajuste aos dados experimentais obtidos.

Para verificação do ajuste de todos os modelos aos dados experimentais, foi calculado o erro médio relativo (P), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (Equação 5), sendo considerado preditivo o modelo que apresentou valores de P menores que 10% (LOMAURO, BAKSHI e LABUZA, 1985). Como também, o que resultar em um coeficiente de determinação (R^2) mais próximo a 1. Logo, através do resultado de P e do R^2 foi possível apontar o modelo que melhor previu o comportamento do processo de secagem.

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|M_p - M_e|}{M_p} \quad (5)$$

Onde: M_p são os valores preditos pelo modelo;

M_e são os valores obtidos experimentalmente;

N e número de pontos experimentais.

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

As análises foram feitas em amostras de nectarina secas com teor de umidade final de 16% (0,19 kg de água/kg de massa seca). Este valor está dentro do máximo permitido pela Legislação Brasileira para a categoria de frutas secas, onde o valor máximo exigido é de 25% de umidade (BRASIL, 2005).

4.4.1 Análises físico-químicas

Para a nectarina *in natura*, foram determinados o teor de umidade, atividade de água, sólidos solúveis (°Brix) e cor. Para as amostras secas foram feitas análises de atividade de água e cor. As análises foram executadas em triplicata, exceto para a cor, que foi feita em sextuplicata.

4.4.1.1 Umidade

A umidade da amostra foi quantificada através do método de secagem na estufa a temperatura de 105°C durante 24 h (AOAC, 2002).

4.4.1.2 Atividade de água

A determinação da atividade de água foi através da utilização de aparelho analisador de atividade de água portátil (Decagon, modelo pawkit), com realização das leituras em triplicata a temperatura de 25°C.

4.4.1.3 Sólidos Solúveis (°Brix)

O teor de sólidos solúveis nas amostras maturadas foi realizado com a retirada de uma pequena alíquota da fruta macerada, depois colocada em refratômetro de bancada (Atago, modelo

Pocket PAL-3) e observada a leitura a 20°C. Os valores obtidos nas leituras foram expressos em °Brix (AOAC, 2002).

4.4.1.4 Cor

Para a análise de cor foi utilizado um colorímetro portátil (Konica Minolta, modelo CM-600D). O equipamento foi previamente calibrado e os resultados foram obtidos com base nas coordenadas CIELAB. Nestas estão compreendidos os parâmetros L^* , a^* e b^* , permitindo assim o cálculo da diferença média de cor (ΔE) entre a amostra *in natura* e a amostra desidratada (equação 6) (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad (6)$$

Onde: L_o^* e L^* são as luminosidades da fruta antes e depois da secagem, respectivamente;

ao^* e a^* são as intensidades das cores vermelha (valor positivo) e verde (valor negativo) da fruta antes e depois da secagem, respectivamente;

bo^* e b^* são as intensidades das cores amarela (valor positivo) e azul (valor negativo) da fruta antes e depois da secagem, respectivamente.

4.4.2 Caracterização funcional

Nas amostras *in natura* e desidratadas foram realizadas análises de atividade antioxidante (DPPH), compostos fenólicos totais (CFT) e carotenoides. Para as análises de fenólicos e atividade antioxidante houve preparação prévia de extratos descritos nos métodos analíticos a seguir.

4.4.2.1 Aquisição dos extratos metanólicos

A preparação desses extratos foi composta por uma solução de 1 g de amostra e 25 mL de metanol, sob agitação a 200 rpm em mesa agitadora (Marconi, modelo MA140/CF) seguida de centrifugação (Novatecnica, modelo NT 812) a 6000 rpm, ambas durante 15 minutos. Por fim, o sobrenadante foi transferido para um tubo Falcon, identificado e refrigerado em temperatura de aproximadamente 4°C para realização dos ensaios de atividade antioxidante e polifenóis.

4.4.2.2 Atividade Antioxidante

A análise para determinação da capacidade antioxidante ocorreu segundo o método de sequestro de radicais livres \cdot DPPH (2,2 Difenil-1-picrilhidrazil), conforme sugerido por Brand-Williams *et al.* (1995) e Büyüktuncel, Porgali e Çolak (2014).

Para a realização da análise, preparou-se uma solução em um balão de 100 mL composta por 2,4 mg de DPPH e completando-se o volume com metanol. Em tubo de ensaio, foi pipetado uma alíquota de 0,5 mL do extrato metanólico da amostra, seguido de 2,5 mL de DPPH (solução) sendo a mistura reservada e mantida ao abrigo da luz durante 30 min em temperatura ambiente. Posteriormente, realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Spectroquant®, modelo Pharo 300) em um comprimento de onda de 517 nm. Os resultados foram expressos em μ g de equivalente de Trolox por 100 g da amostra seca.

4.4.2.3 Compostos fenólicos totais

A análise de compostos fenólicos ocorreu com o uso do reagente Folin-Ciocalteu 10%, conforme a metodologia adotada por Singleton *et al.* (1999), na qual uma alíquota de 0,5 mL de extrato das amostras foi transferida para os tubos de ensaio e, na sequência, foi adicionado 2 mL de reagente Folin-Ciocalteu. Após 5 min, adicionaram-se 2,5 mL de carbonato de sódio 4% e a mistura colocada em tubos ao abrigo da luz por 120 min. Em seguida, foi conduzida a leitura das absorbâncias em espectrofotômetro no comprimento de onda de 760 nm. A redução do Folin pelos compostos fenólicos nas amostras se manifestou através da formação de um complexo azul, cuja intensidade aumentou linearmente neste comprimento de onda (SWAIN e HILLIS, 1959). A quantificação foi com base na curva de calibração e o resultado expresso em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de amostra seca.

4.4.2.4 Carotenoides

A análise de carotenoides totais foi executada de acordo com a metodologia de Rodriguez-Amaya (1999). A extração de carotenoides ocorreu com preparo do extrato contendo 5g de amostra e 30 mL de acetona, colocados em mesa agitadora por 1 hora. Depois de filtrado, foi transferido para funil de separação, adicionado 20 mL de éter de petróleo e lavado com água destilada. As

leituras das absorvâncias foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 449 nm, para a quantificação de β -criptoxantina, e 450 nm, para a de β -caroteno. A quantificação foi expressa em μg por 100 g de amostra seca.

4.5 RETENÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

A retenção dos compostos bioativos após o processo de secagem da nectarina foi calculada usando a Equação (7) a seguir, conforme Nóbrega *et al.* (2014):

$$\text{Retenção \%} = \frac{T_{\text{final}}}{T_{\text{inicial}}} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde: T_{inicial} é o teor do composto bioativo na fruta *in natura*;

T_{final} é o teor do composto bioativo após o processo de secagem.

4.6 RENDIMENTO

A partir do procedimento de secagem da nectarina foi possível realizar o cálculo do rendimento, visando a obtenção da eficiência do processo adotado com base na equação (8) a seguir:

$$\text{Rendimento \%} = \left(\frac{P_s}{P_i} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Onde: P_s é o peso da amostra seca (g);

P_i é o peso inicial da amostra (g).

4.7 CONSUMO ENERGÉTICO

O consumo energético foi quantificado através de aparelho medidor de energia elétrica (Victor, WF-D02A) conectado aos equipamentos (banho ultrassônico e/ou bomba a vácuo) e a rede elétrica, durante todo o período de secagem das amostras. A medições foram expressas em kWh.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados neste estudo foram dispostos na forma média \pm desvio padrão. Foi realizada análise de variância (ANOVA) e o teste de *Tukey* através do *software Statistic*® 10.0, admitindo-se um intervalo de confiança de 95%, ou seja, a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) considerado para a diferença entre as médias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados e discussão dos ensaios realizados. Distribuídos entre os tópicos de secagem, avaliação da qualidade, rendimento e consumo energético.

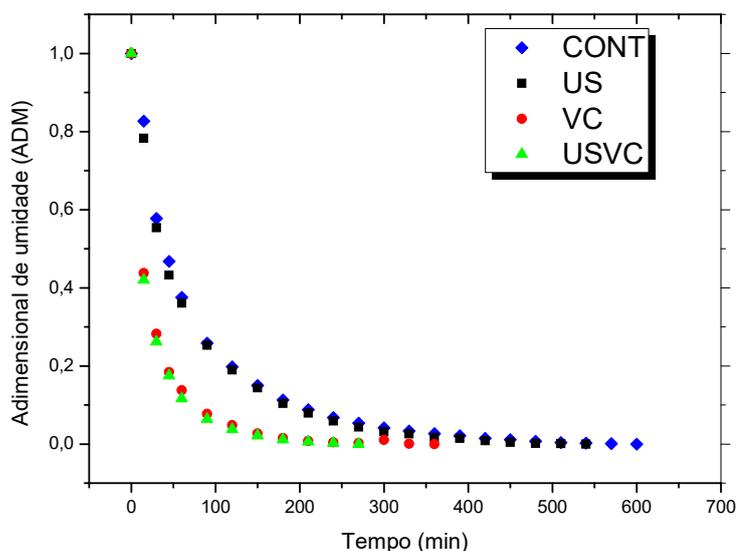
5.1 SECAGEM

Os resultados e discussão sobre a secagem foi realizada a partir da cinética de secagem, modelos de camada fina e difusividade efetiva, como descrito a seguir.

5.1.1 Cinética de secagem

O estudo da cinética e modelagem de secagem são de grande importância para projetos, simulações e otimização do processo. No caso da nectarina, as curvas de secagem das amostras na temperatura de 60°C para os quatros métodos propostos são apresentadas na Figura 8. As frutas utilizadas nos experimentos apresentaram um conteúdo inicial de umidade de 92 %. Nota-se que o conteúdo de umidade decai exponencialmente, e mais intensamente, conforme o método utilizado. As curvas são caracterizadas pela fase 1 da taxa decrescente do processo de secagem, com acelerada perda de água, seguida da fase de declínio da umidade, evidenciando então a diminuição da taxa de secagem até o término do processo. Tzempelikos *et al.* (2015) obtiveram perfil semelhante no estudo da cinética de secagem de marmelos.

Figura 8 - Adimensional de umidade (ADM) em função do tempo na secagem da nectarina nos métodos: secagem controle; secagem com ultrassom; secagem a vácuo; secagem ultrassom com vácuo.



Na fase de taxa decrescente a presença de água na superfície é menor, conseqüentemente, sendo reduzida a transferência de massa. Também, nessa fase, a reduzida migração da água da parte interna para a superfície da amostra é um fator limitador. Comumente, essa fase é a única observada na desidratação de produtos agrícolas e alimentícios (PARK, YADO e BROD, 2001). Devido a secagem ocorrer na fase de taxa decrescente, a transferência de massa (água) é controlada por difusão interna (PEREA-FLORES *et al.*, 2012).

Os tempos para atingir o equilíbrio dinâmico (peso constante) das amostras de nectarina foram de 600 min para secagem controle, 360 min para a vácuo, 540 min com ultrassom e 270 min para ultrassom com vácuo. Dessa forma, observa-se que a diminuição da pressão na secagem, favoreceu ao aumento na taxa de processo, resultando em uma redução do tempo de mais de 50% em relação à secagem controle. Zecchi *et al.* (2011) relataram menor tempo de secagem ao empregarem o vácuo em comparação com a secagem convectiva de salsa e cogumelos, bem como Arévalo-Pinedo e Murr (2007) também observaram o mesmo comportamento com cenoura e abóbora.

O uso do ultrassom combinado com o vácuo também foi eficiente em aumentar a taxa de secagem, diminuindo o tempo de processo. Esse resultado também foi relatado por Başlar *et al.* (2014) com carne bovina e frango e por Chen, Guo e Wu (2016) em estudo com cenouras. As ondas ultrassônicas, no método combinado, alteraram a difusão na camada limite, ou seja, afetaram significativamente as resistências externas favorecendo a transferência de calor e massa devido a variações de pressão, de viscosidade e efeitos internos, como a pulsação molecular (microstreaming) (BAŞLAR *et al.*, 2014; CHEN, GUO e WU, 2016; RODRÍGUEZ, MULET e BON, 2014). As compressões e expansões alternadas provocadas pela sonicação resultam em um efeito análogo ao de uma esponja, que comprime e expande consecutivamente, sendo por isso então chamado de “efeito esponja”. Esse efeito lança a água da parte interna da molécula para a superfície da amostra, através da criação de canais microscópicos, possivelmente originados devido às forças desse mecanismo ultrapassarem a tensão superficial que mantém a água dentro dos capilares da amostra (CÁRCEL *et al.*, 2012).

A secagem controle (sem o uso de ultrassom e vácuo), que obteve maior tempo para atingir o equilíbrio dinâmico, foi controlada pelo transporte de umidade de maneira interna na amostra, o que propiciou um processo lento. A secagem de alimentos pode admitir esse controle interno

principalmente devido a estrutura complexa e a composição desse alimento (MUSIELAK, MIERZWA e KROEHNKE, 2016).

5.1.2 Modelos de camada fina

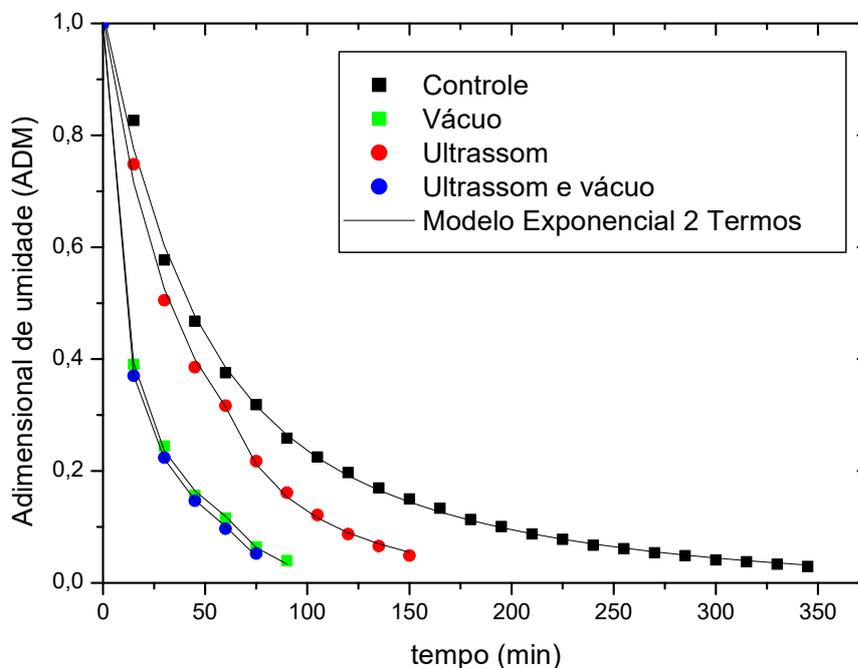
O estudo com modelos empíricos tem seu destaque devido a capacidade de obtenção de boa adequação para descrever o comportamento da secagem, conforme as condições de processo, podendo estimar condições ótimas que resultem no conteúdo de umidade final desejado e nas melhores condições.

Foram utilizados seis modelos cinéticos de camada fina para o ajuste aos dados experimentais obtidos nas diferentes técnicas de secagem. Os parâmetros dos modelos, valores de coeficiente de determinação (R^2) e erro médio relativo (P) são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o modelo Exponencial de Dois Termos obteve melhor ajuste aos dados de secagem da nectarina (Figura 9), apresentando maiores valores de R^2 , e exibindo menores valores de P.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos ajustados aos dados de secagem da nectarina.

Modelos matemáticos		Parâmetros				R² (%)	P (%)
	Métodos	<i>a</i>	<i>k</i>				
Henderson e Pabis	CONT	0,9564	0,0136			0,9832	30,41
	VC	0,972	0,0479			0,9741	40,34
	US	0,9611	0,0176			0,9804	27,86
	USVC	0,9767	0,0521			0,9770	22,92
		<i>a</i>	<i>k</i>	<i>c</i>			
Logaritmo	CONT	0,9441	0,0166	0,0493		0,9939	16,10
	VC	0,9166	0,0628	0,0743		0,9921	24,00
	US	0,7342	11,6951	0,2658		0,5159	119,78
	USVC	0,9114	0,0704	0,0830		0,9944	16,97
		<i>a</i>	<i>k</i>	<i>b</i>	<i>w</i>		
Exponencial Dois Termos	CONT	0,3938	0,0073	0,625	0,0261	0,9974	3,30
	VC	0,5822	0,1262	0,4176	0,021	0,9997	5,73
	US	0,3708	0,0070	0,6394	0,0336	0,9979	4,21
	USVC	0,5398	0,1513	0,4602	0,0253	0,9996	2,69
		<i>a</i>	<i>b</i>				
Wang e Singh	CONT	-0,0084	0,00002			0,8510	81,76
	VC	-0,0257	0,0002			0,8254	92,99
	US	-0,0118	0,00004			0,8842	56,51
	USVC	-0,0311	0,0002			0,8868	59,17
		<i>k</i>	<i>n</i>				
Page	CONT	0,0323	0,8164			0,9935	10,52
	VC	0,3277	6,2898			0,6223	85,71
	US	0,0444	0,7831			0,9938	9,08
	USVC	0,3084	7,2296			0,6471	83,33
		<i>k</i>					
Exponencial simples	CONT	0,0143				0,9811	33,77
	VC	0,0494				0,9729	41,45
	US	0,0186				0,9783	30,22
	USVC	0,0534				0,9761	23,51

Figura 9 - Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental da nectarina seca utilizando o modelo Exponencial Dois termos.



Medeiros *et al.* (2016) obtiveram ajustes satisfatórios com o modelo Exponencial Dois Termos, em pesquisa sobre a cinética de secagem da manga, utilizando a mesma temperatura de secagem e modelos matemáticos para ajuste aos dados experimentais. Esse modelo empírico também obteve bom ajuste por Başlar *et al.* (2015) na secagem com os métodos a vácuo, vácuo combinado com ultrassom e sem ultrassom e vácuo (USVC) de filetes de salmão e truta. Başlar *et al.* (2014) também reportaram um bom ajuste utilizando esse modelo para o método USVC para carne bovina e frango.

O modelo Exponencial de Dois Termos é um componente de séries infinitas de exponenciais negativas proveniente de uma resolução geral da equação difusional. Resolução essa que pode ser aplicada sem restrição quanto a geometria e condição de contorno, assumindo difusividade constante (PEREA-FLORES *et al.*, 2012).

Ao analisar os resultados com o uso desse modelo, é possível perceber que o método USVC obteve a maior constante da taxa de secagem, o parâmetro k , entre os métodos utilizados, resultando ainda em menor valor de P (2,69%). Quando o processo de secagem se encontra na fase de taxa decrescente, o parâmetro k tem relação com a difusividade. Sendo assim, o k pode estar associado à facilidade de perda da umidade (PEREA-FLORES *et al.*, 2012).

5.1.3 Difusividade efetiva

A difusividade efetiva da água (D_{ef}) é função da temperatura e da umidade de um material, e é uma propriedade de transporte importante na modelagem do processo. Os valores de difusividade efetiva (D_{ef}) da nectarina seca nos diferentes métodos estão apresentados na Tabela 4. Observa-se uma variação da difusividade entre os métodos aplicados, resultando em valores na faixa de $2,88 \times 10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ a $10,91 \times 10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Perea-Flores *et al.* (2012) encontraram valores nessa ordem de $10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ em estudo da secagem de cenouras pré-tratadas com ultrassom e Başlar *et al.* (2014) com carne e frango na secagem com ultrassom e vácuo.

Tabela 4 - Valores da difusividade efetiva (D_{ef}) para nectarina nos diferentes métodos de secagem.

Método	$D_{ef} \times 10^8 \text{ (m}^2.\text{s}^{-1}\text{)}$	R^2
CONT	2,88	0,9856
VC	10,01	0,9875
US	3,58	0,9868
USVC	10,91	0,9893

A variação das difusividades depende das condições de secagem. Assim, observa-se um aumento significativo da D_{ef} , quando comparado a secagem controle, ao ser empregado o uso do vácuo. Também observa-se um aumento com a secagem assistida por ultrassom. Resultado semelhante foi obtido por Başlar *et al.* (2014) utilizando os mesmos métodos.

Essa maior difusividade resulta do favorecimento a evaporação da água devido o meio de secagem estar em baixa pressão, o qual eleva a temperatura, promovendo o transporte da água e calor mais facilmente, e assim, acelerou a desidratação da amostra. Logo, essa relação entre a umidade e temperatura mostra que quão maior for a difusividade maior a taxa de secagem.

A difusividade efetiva da água de diferentes biomateriais pode variar conforme sua umidade, temperatura e estrutura, sendo considerado que os processos caracterizados na fase de taxa decrescente poderiam ter seus resultados explicados através da equação difusional de Fick (PEREA-FLORES *et al.*, 2012).

5.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

As amostras de nectarina foram secas até a umidade de 16% para a realização das análises, por apresentar características físico-química satisfatórias nessa condição, como exposto em estudo por Silva Junior (2018). As amostras secas atingiram essa umidade em 503 min para secagem controle, 205 min para a vácuo, 435 min com ultrassom e 198 min para ultrassom com vácuo. Esse valor de conteúdo de umidade encontra-se abaixo do valor máximo permitido (até 25%) pela legislação brasileira para este tipo de produto.

5.2.1 Atividade de água

A técnica de secagem, além de antiga, é também conhecida por preservar frutas, com a redução do teor de umidade e, portanto, a atividade de água (A_w) (TONTUL e TOPUZ, 2017). A A_w está diretamente ligada a atividade metabólica e o desenvolvimento dos microrganismos, e também com as reações de hidrólise. Ela indica quão disponível a água está para a ação dos microrganismos, ou seja, para o seu crescimento e realização de reações químicas e bioquímicas (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

As atividades de água das amostras secas variaram entre 0,60 e 0,69 (Tabela 5). As A_w obtidas não diferiram estatisticamente entre os métodos utilizados. O alto valor de A_w encontrado para a nectarina *in natura*, foi semelhante ao encontrado por Araujo (2005), que foi de 0,98. Para as amostras secas, Araujo (2005) também encontrou valores de A_w próximos ao deste estudo.

Tabela 5 - Valores médios de atividade de água (A_w) da nectarina *in natura* e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostras	Atividade de água (A_w)
IN NAT	0,95 ± 0,04 ^a
CONT	0,60 ± 0,01 ^b
US	0,63 ± 0,03 ^b
VC	0,66 ± 0,05 ^b
USVC	0,69 ± 0,04 ^b

Médias seguidas de índices sobrescritos iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Alimentos apresentando a A_w entre 0,85 e 0,6 pertencem ao grupo IMF (Alimentos com Umidade Intermediária), como nozes, amêndoas e farofas. O valor de 0,6 para A_w é tido como o limite para o crescimento de microrganismos. Nessa A_w , os alimentos secos têm estabilidade microbiológica, ou seja, os agentes microbiológicos contaminantes não conseguem se multiplicar, devido à ausência de condições favoráveis, e ainda, apresentando uma tendência na diminuição de células viáveis (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

5.2.2 Cor

A cor é uma das características de qualidade sensorial de destaque, devido a sua influência quanto aos gostos do consumidor para frutas e legumes, processados ou frescos. Deste modo, deve-se haver atenção em reduzir danos ao pigmento e reações de escurecimento no decorrer do processamento (TEKIN *et al.*, 2017). Os resultados dos parâmetros e diferença de cor da nectarina seca e *in natura* estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios para cor da nectarina *in natura* e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostras	L*	a*	b*	ΔE
IN NAT	72,45 ± 0,46 ^a	9,43 ± 1,18 ^a	40,25 ± 4,42 ^{ab}	-
CONT	42,16 ± 1,82 ^b	11,77 ± 1,54 ^{ab}	30,18 ± 5,01 ^c	32,46 ± 3,31 ^a
US	48,45 ± 1,48 ^c	12,32 ± 1,09 ^b	37,10 ± 3,27 ^b	24,47 ± 1,74 ^b
VC	65,62 ± 3,33 ^d	10,33 ± 2,01 ^{ab}	44,11 ± 2,71 ^a	10,40 ± 3,83 ^c
USVC	67,00 ± 6,14 ^{ad}	9,48 ± 0,79 ^a	45,32 ± 2,80 ^a	11,27 ± 0,54 ^c

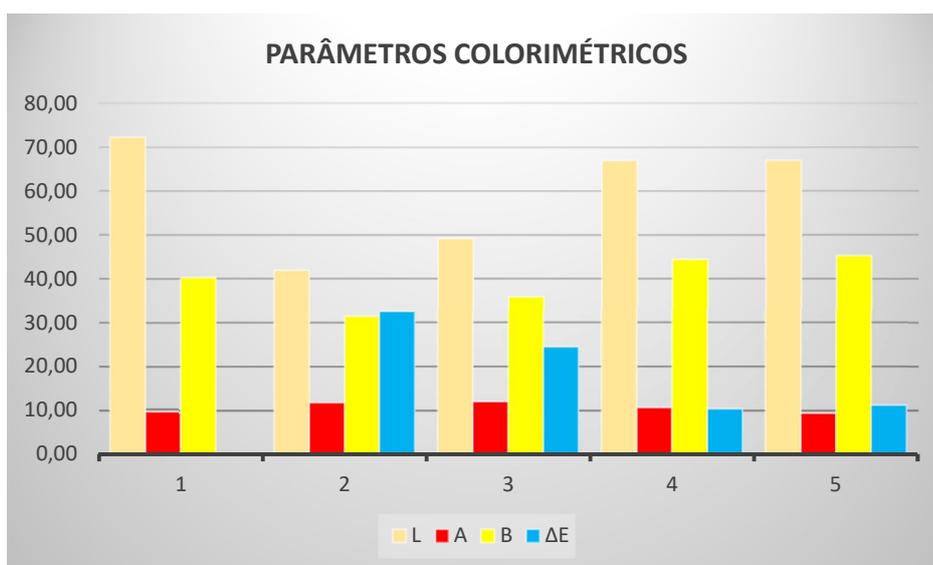
Médias seguidas de índices sobrescritos iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Entre as condições de secagem, o parâmetro a^* aumentou após o processamento, independente do método utilizado, indicando uma maior expressão do vermelho. Já o parâmetro b^* aumentou apenas com o uso do vácuo, indicando uma cor amarela pronunciada. A luminosidade (L^*) diminuiu, indicando uma redução no brilho da nectarina e o escurecimento das amostras. Uma menor redução nos valores de L^* foi observada quando as amostras foram submetidas a vácuo durante a secagem. No entanto, não houve diferença significativa entre as luminosidades do método USVC e da nectarina fresca. A partir da Tabela 6, pode-se observar que as amostras de CONT

(secas sem o uso de ultrassom e vácuo) apresentaram o menor valor de L^* e com diferença significativa ($p < 0,05$) de todas as outras amostras. Silva Júnior *et al.* (2018), ao estudarem os mesmos métodos de secagem para o mamão, também relataram uma diminuição em L^* e que as amostras secas com o auxílio de vácuo (VC e USVC) resultaram em uma coloração mais clara que o CONT e o US. Isso foi atribuído à falta de oxigênio que ajudou a prevenir o escurecimento das enzimas e a degradação do ácido ascórbico.

Os métodos que resultaram em menor ΔE foram o VC (10,40) e o USVC (11,27), como pode ser visualizado na Figura 10, não diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) entre si.

Figura 10 - Resultados para os parâmetros de cor da nectarina *in natura* (1); Secagem controle (2); Secagem com ultrassom (3); Secagem à vácuo (4) e ultrassom com vácuo (5).



A alteração de cor durante os processos de secagem tem forte ligação com processo de escurecimento enzimático e não enzimático e perda de compostos devido a ação da temperatura. Os compostos fenólicos são responsáveis por induzir o escurecimento enzimático, através da enzima polifenoloxidase (DROGOUDI *et al.*, 2016). Essa enzima oxida os compostos fenólicos com ajuda do oxigênio, resultando em quinonas, que por serem altamente reativas, se juntam aos componentes do meio de grande massa molecular e cor escura, designados de melaninas. As peroxidases também participam na alteração de cor, bem como na degradação do teor nutritivo, tendo como principal característica a termoestabilidade (KOBBLITZ, 2008). Assim, a presença da

baixa pressão reduziu o oxigênio do meio de secagem, e por consequência, reduziu a ação da enzima. Esse comportamento é bem-vindo, pois a menor alteração de cor possível, quando comparada a nectarina fresca, é uma característica de interesse na composição avaliativa sensorial.

5.2.3 Atividade antioxidante

Os antioxidantes são obtidos principalmente de produtos de origem vegetal, que são os compostos fenólicos, ácido ascórbico e carotenoides. Em mínimas concentrações, ao comparar com agente oxidante, são capazes de retardar ou evitar danos provenientes da oxidação como o desenvolvimento de *off-flavors* e rancificação nos alimentos (SILVA *et al.*, 2010).

A capacidade antioxidante se tornou um parâmetro de qualidade tendo em vista seus benefícios à saúde. Esse atributo promove a crescente procura de consumidores por frutas devido ao seu alto teor antioxidante. Uma considerável variação nesses antioxidantes pode ser encontrada entre os cultivares da nectarina (DROGOUDI *et al.*, 2016).

Os resultados obtidos para a atividade antioxidante das amostras são apresentados na Tabela 7. Para a amostra *in natura* foi obtido valor de 3773,03 $\mu\text{g Trolox Eq.}100\text{ g}^{-1}$ em MS (302,55 $\mu\text{g Trolox Eq. g}^{-1}$ MU). Valor semelhante foi encontrado por Gil *et al.* (2002) em cultivares da nectarina de polpa amarela (317 μg capacidade antioxidante equivalente ao ácido ascórbico. g^{-1} em MU). Já Cantín, Moreno e Gogorcena (2009) encontraram valor médio de 405 $\mu\text{g Trolox Eq. g}^{-1}$ MU em estudo sobre pêssegos e nectarinas. Abidi *et al.* (2011) obtiveram valor um pouco maior (386 $\mu\text{g Trolox Eq. g}^{-1}$ em MU) em estudo sobre a nectarina. Para pêssegos e nectarinas, a atividade antioxidante pode variar de 100 a 1000 μg de Trolox por g de base úmida (ELSADR e SHERIF, 2016).

Tabela 7- Conteúdo médio em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para atividade antioxidante (DPPH) da nectarina *in natura* e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostras	Atividade Antioxidante ($\mu\text{g Trolox Eq.100g}^{-1}$ MS)	% Retenção
IN NAT	3773,03 \pm 8,21 ^a	-
CONT	679,04 \pm 0,78 ^b	18
US	789,78 \pm 0,00 ^c	21
VC	517,67 \pm 0,78 ^d	14
USVC	791,78 \pm 0,78 ^c	21

Médias seguidas de índices sobrescritos iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Dentre as amostras de nectarina secas no processo, a capacidade antioxidante exibiu conteúdos variando entre 517,67 e 791,78 $\mu\text{g Trolox Eq.100 g}^{-1}$ de MS. As perdas pela exposição ao calor, comumente observadas em outros estudos com matriz/metodologia diferentes, também ocorreram nestes resultados. As secagens envolvendo ultrassom, exibiram os maiores valores de atividade antioxidante. Estudos mostram que a influência das ondas ultrassônicas tem uma seletividade quanto ao tipo de componente bioativo. E as ondas ultrassônicas provocam o efeito esponja e de cavitação, e seu efeito sobre os compostos bioativos tem forte ligação com os parâmetros de processo e estrutura do alimento (NOWACKA *et al.*, 2018).

A maior atividade antioxidante foi observada para a amostra USVC, sendo que esse método possibilitou a retenção de 21% da capacidade antioxidante. O USVC conseguiu uma redução mais efetiva da oxidação devido a um menor tempo de processo a uma baixa pressão e aos efeitos na estrutura interna da amostra provocada pelas ondas ultrassônicas. Esse sinergismo, resultado da combinação entre métodos pode ser observado em outros estudos, como na secagem de vagem por Tekin *et al.* (2017) e na extração de compostos bioativos em folhas de mirtilo por Wang *et al.* (2018).

O VC exibiu o menor conteúdo de capacidade antioxidante. Os compostos bioativos são mais facilmente degradados na presença de oxigênio, sendo assim, o esperado seria que esse método exibisse um maior resultado devido o meio de secagem estar sob vácuo. Pode se considerar que algumas frutas contêm elevado oxigênio em suas matrizes, como por exemplo maçã e abacaxi, e que alguns vegetais, como o pêssego, aspargo e vagem, conseguem aprisionar oxigênio com

facilidade onde estão acondicionadas, no caso no interior do recipiente (GAVA, SILVA e FRIAS, 2008). No entanto, o mecanismo de mudanças na capacidade antioxidante nessa condição de baixa pressão necessita de mais considerações, logo sendo também necessário mais estudos.

5.2.4 Compostos fenólicos

A nectarina possui vários compostos fenólicos, dentre eles os mais importantes na fruta são o ácido clorogênico e o ácido neoclorogênico, considerados uns dos mais ricos, encontrados em diversas frutas e mais conhecidos por sua capacidade antioxidante (XI *et al.*, 2017). Os polifenóis tem função defensora contra insetos, herbívoros e danos oxidativos, como também atuam no mecanismo de pigmentação e escurecimento, adstringência e sequestro de radicais livres.

A nectarina possui altos níveis de polifenóis, sendo a maior concentração em sua casca. Eles previnem ou retardam a superprodução de agentes oxidantes (radicais livres), que podem provocar estresse oxidativo e por consequência causam doenças crônicas (ELSADR e SHERIF, 2016).

No presente estudo, o teor de fenólicos encontrado na fruta fresca foi de 51,34 mg EAG.100 g⁻¹ de amostra úmida (640,46 mg EAG.100 g⁻¹ MS) (Tabela 8), valor próximo ao encontrado por Ciešlik, Gręda e Adamus (2006), que quantificaram 57 mg EAG.100 g⁻¹ em amostra úmida (557 mg EAG.100 g⁻¹ MS), em estudo sobre polifenóis em frutas e verduras. Os valores encontrados neste estudo também estão dentro dos valores encontrados por Cantín, Moreno e Gogorcena (2009), que foi entre 12,7 a 71,3 mg EAG.100 g⁻¹ em MU em pesquisa sobre composição bioativa de pêssegos e nectarinas. Valores maiores (93 a 183 mg EAG.100 g⁻¹ em base úmida) foram encontrados por Mitic *et al.* (2016). É importante ressaltar, que as diferenças no teor de fenólicos entre os estudos, podem variar ou não entre nectarinas de polpa branca e amarela (ELSADR e SHERIF, 2016).

Tabela 8- Conteúdo médio em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para compostos fenólicos totais (CFT) da nectarina *in natura* e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostras	Fenólicos totais (mg EAG.100 g⁻¹ MS)	% Retenção
IN NAT	640,46 ± 3,29 ^a	-
CONT	203,85 ± 2,99 ^b	32
US	176,39 ± 1,61 ^c	28
VC	116,55 ± 2,74 ^d	18
USVC	257,32 ± 3,22 ^e	40

Médias seguidas de índices sobrescritos iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Dentre as amostras secas, o método USVC obteve o maior teor de fenólicos totais (257,32 mg EAG.100 g⁻¹), com o maior percentual de retenção em relação aos demais métodos. O menor valor encontrado foi com o método VC (116,55 mg EAG.100 g⁻¹). Resultados semelhantes, quanto a indicação do método, ocorreram em pesquisa com secagem de vagem, utilizando ultrassom e vácuo (65°C) realizada por Tekin *et al.* (2017). Esse melhor resultado, pode ter ocorrido devido ao efeito sinérgico entre o vácuo e o ultrassom, no qual o ultrassom, através do mecanismo de cavitação gera ciclos sucessivos de compressão e rarefação, favorecendo a extração dos compostos e a transferência de calor (CHEMAT, ZILL-E-HUMA e KHAN, 2011) e o vácuo favorece a um menor tempo de secagem devido sua atuação em baixa pressão.

5.2.5 Carotenoides

São pigmentos lipossolúveis, do amarelo ao vermelho, que compõem uma ampla variedade de frutas e vegetais, e precursores da vitamina A. Pesquisas mostram que sua função antioxidante é importante na diminuição do risco de doenças, como o câncer e no processo de envelhecimento. Entre as várias frutas de polpa alaranjada, o principal carotenoide é a β -Criptoxantina, porém apresentando níveis menores que 20 $\mu\text{g/g}$. O β -caroteno também está entre os mais pesquisados, devido a sua implicação na saúde humana. Nas regiões subtropicais, a nectarina e o pêssego são, praticamente, as únicas frutas que contêm teores consideráveis de carotenoides (RODRIGUES-AMAYA, KIMURA e AMAYA-FARFAN, 2008).

A nectarina *in natura* apresentou teor de carotenoides de 127,6 $\mu\text{g}.100 \text{ g}^{-1}$ de MS (100,8 $\mu\text{g}.100 \text{ g}^{-1}$ de MU) para β -criptoxantina e 83,6 $\mu\text{g}.100 \text{ g}^{-1}$ de MS (69,3 $\mu\text{g}.100 \text{ g}^{-1}$ de MU) para o

β -caroteno (Tabela 9), permanecendo na faixa de valores para carotenoides (86 a 157 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de MU) encontrados por Gil *et al.* (2002). Rodrigues-Amaya, Kimura e Amaya-Farfan (2008) encontraram valores maiores para β -criptoxantina (390 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de MU) e para o β -caroteno (100 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de MU). O teor de carotenoides nas frutas e vegetais sofre influência de diversos fatores como práticas agrícolas, exposição solar, área de produção, estágio de maturação, manejo pós-colheita e da metodologia de execução da análise (SILVA *et al.*, 2010).

Tabela 9 - Conteúdo médio em massa seca (MS) e porcentagem de retenção de carotenoides da nectarina *in natura* e seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostra	Carotenoides ($\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ MS)			
	β -criptoxantina	% Retenção	β -caroteno	% Retenção
IN NAT	127,61 \pm 6,13 ^a	-	83,66 \pm 4,28 ^a	-
CONT	3,26 \pm 0,06 ^b	3	3,17 \pm 0,08 ^b	4
US	9,12 \pm 0,44 ^b	7	5,79 \pm 0,18 ^b	7
VC	3,52 \pm 0,31 ^b	3	3,03 \pm 0,02 ^b	4
USVC	5,10 \pm 0,26 ^b	4	5,02 \pm 0,11 ^b	6

Médias seguidas de índices sobrescritos iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

O resultado para carotenoides foi calculado considerando como referência os conteúdos de β -criptoxantina e de β -caroteno nas amostras de nectarina *in natura* e seca. A β -criptoxantina e o β -caroteno apresentaram comportamento semelhante. Em todos os métodos utilizados, o conteúdo diminuiu durante a secagem, variando entre 3,26 a 9,12 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de MS para a β -criptoxantina e entre 3,03 a 5,79 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de MS para o β -caroteno.

Os carotenoides são passíveis de sofrer degradação térmica e enzimática pela enzima lipoxigenase (SOGI *et al.*, 2013). O processamento térmico pode resultar em um menor teor de carotenoides totais e em um aumento do efeito da bioacessibilidade dos carotenoides, podendo variar conforme sua estrutura. Efeito esse concebido através de uma ruptura do alimento, que promove a liberação de carotenoides e a solubilização dele em micelas mistas (BARBA *et al.*, 2017). Lemmens *et al.* (2014) constataram um aumento no efeito na bioacessibilidade em estudo do processo térmico em cenouras.

Os maiores valores foram obtidos pelas amostras que fizeram uso do ultrassom durante a secagem (US e USVC). O ultrassom tem como atributo a extração de compostos bioativos. A sua forte influência pode ser atribuída à ruptura das paredes celulares, diminuindo as partículas e favorecendo o transporte de massa da célula para o solvente, colapsando a bolha pela cavitação, que logo, propicia a liberação rápida de compostos (REZENDE, NOGUEIRA e NARAIN, 2017). Sendo assim o US e USVC apresentaram maiores retenções dos carotenoides.

O ultrassom aliado a outras técnicas pode também elevar o seu bom desempenho quanto ao teor de carotenoides, como em estudo com o mamão realizado por Azoubel *et al.* (2015). Era esperado que o método VC conferisse um maior valor devido a deficiência de oxigênio no processo, todavia o VC esteve entre os menores valores, sendo, no caso do β -caroteno, menor que o obtido na secagem controle. Caso semelhante ocorreu em secagens com casca de manga por Sogi *et al.* (2013) e com melão por Silva *et al.* (2016). O que pode ter sido ocasionado devido a suscetibilidade dos carotenoides à quebra oxidativa pela família de enzimas dioxigenases (lipoxigenase).

5.3 RENDIMENTO

O rendimento é um indicador de grande relevância para o setor alimentício, já que quanto maior rendimento, maior são os benefícios ligados a produção (TONTUL e TOPUZ, 2017). Dados de rendimento do produto final tem relevância na composição do seu valor. A perda de matéria-prima e a umidade residual do produto seco são os principais fatores ligados ao rendimento (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2011). Os resultados dos ensaios de secagem estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Rendimento médio da nectarina seca pelos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostras	Rendimento (%)
CONT	13,64±0,91 ^a
US	19,21±0,34 ^b
VC	20,78±0,44 ^b
USVC	20,74±1,04 ^b

Médias seguidas de índices sobrescritos iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados para os métodos US, VC e USVC não diferiram estatisticamente entre si a um nível de 5% confiança, diferindo apenas da secagem controle (13,64%), que apresentou o menor valor. O uso do ultrassom pode proporcionar aumento do rendimento do produto (PATIST e BATES, 2008). Silva Junior (2018) obteve valores aproximados, acima de 18%, para o mamão em secagem com ultrassom e vácuo e não apresentando diferença significativa entre suas amostras.

5.4 CONSUMO ENÉRGÉTICO

Fatores como o aumento dos requisitos de qualidade do produto e a necessidade de proteção do meio ambiente, aliados ao aumento dos gastos com energia, impulsionaram para um maior interesse no desenvolvimento de modernas tecnologias de secagem (MUSIELAK, MIERZWA, KROEHNKE, 2016). Reduzir o consumo energético dos processos é um aspecto relevante, que deve ser levado em conta para diminuir os custos financeiros e ambientais (CÁRCEL *et al.*, 2012).

O consumo total de energia dos processos variou de 1,10 a 2,00 kWh (Tabela 11), sendo a secagem controle a que obteve maior consumo (2,00 kWh) e a secagem a vácuo com o menor consumo (1,10 kWh).

Tabela 11 – Consumo de energia durante a secagem da nectarina através dos métodos: CONT = controle; US = com ultrassom; VC = a vácuo; USVC = ultrassom com vácuo.

Amostra	Tempo (h)	Consumo (kWh)
CONT	503	2,00
US	435	1,47
VC	205	1,10
USVC	198	1,16

A secagem VC resultou em uma redução no consumo de 45% em relação à secagem CONT, enquanto que para o USVC (1,16 kWh) a redução foi de 42%. Embora o USVC não tenha obtido o menor consumo, obteve-se o menor tempo de processo e taxa de secagem mais rápida. Também, diante da mínima diferença entre o consumo do VC e do USVC, o uso desse último pode ser mais estratégico e preferido, pois com a economia propiciada pelo menor tempo de processo, custos com funcionários e armazenamento podem ser menores, conforme relatado por Tekin *et al.* (2017).

6 CONCLUSÕES

A secagem da nectarina mostrou através da cinética de secagem que o método USVC obteve a maior taxa de secagem e menor tempo de processo entre os métodos observados, apresentando o modelo Exponencial de Dois Termos como o mais adequado ao processo. O uso do vácuo foi influente para o aumento da transferência de massa e calor, causando maior redução do tempo de secagem, como também para uma menor mudança de cor e consumo energético. Já o uso do ultrassom proporcionou maior retenção da capacidade antioxidante, bem como de compostos fenólicos e carotenoides, evidenciando que o uso apenas do vácuo não favoreceu a retenção destes bioativos. O efeito sinérgico a partir do uso combinado do ultrassom e vácuo pode resultar em frutas secas de qualidade e com menor consumo energético durante o processamento.

6.1 PERSPECTIVAS

Considerando que o presente trabalho avaliou a influência do uso do ultrassom e vácuo em termos físico-químicos e de qualidade a 60°C, seria interessante avaliar em temperaturas maiores e menores, podendo confirmar essa temperatura ou evidenciar outra que contemplasse um processo com as melhores características físico-químicas e funcionais, e englobasse, também rendimento e consumo energético. Adicionalmente, expandir a caracterização de qualidade da amostra, avaliando a influência do processamento em outros compostos (como ácido ascórbico), bem como avaliação sensorial dos produtos secos obtidos.

REFERÊNCIAS

- ABE, T.; AFZAL, T. M. Thin-layer in infrared radiation drying of rough rice. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 67, p. 289-297, 1997.
- ABIDI, W.; JIMÉNEZ, S.; MORENO, M. A; GOGORCENA, Y. Evaluation of Antioxidant Compounds and Total Sugar Content in a Nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] Progeny. **International Journal of Molecular Sciences** 12, p. 6919-6935, 2011.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7.^a Ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 452 p. (Boletim IAC, n. ° 200), 2014.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2016. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 88 p., 2016.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC. 17th ed. Washington, 2002.
- ARAÚJO, E. A. F. **Estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*)**. Tese de Doutorado Campinas, SP: Unicamp, 113 p., 2005.
- ARAÚJO FILHO, D. G.; EIDAM, T.; BORSATO, A. V.; RAUPP, D. S. Processamento de produto farináceo a partir de beterrabas submetidas à secagem estacionária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 207-214, 2011.
- ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. **Journal of Food Engineering** 80, p. 152–156, 2007.
- AZOUBEL, P. M.; BAIMA, M. A. M.; AMORIM, M. R.; OLIVEIRA, S. S. B. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 194-198, 2010.
- AZOUBEL, P. M.; AMORIM, M. R.; OLIVEIRA, S. S. B.; MACIEL, M. I. S.; RODRIGUES, J. D. Improvement of Water Transport and Carotenoid Retention During Drying of Papaya by Applying Ultrasonic Osmotic Pretreatment. **Food Engineering Reviews**, 2015.
- BARBA, F. J.; MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N.; MERCADANTE, A. Z.; BARBOSA-CANOVAS, G. V.; ORLIEN, V. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. **Trends in Food Science Technology**, p. 195-206, v. 67, 2017.
- BARROS, R. G. C.; ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidante activity in some Brazilian exotic fruit residues. **Food Research International** 102, p. 84-92, 2017.
- BAŞLAR, M.; KILIÇLI, M.; TOKER, O. S.; SAĞDIÇ, O.; ARICI, M.. Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats.

Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 26, p. 182–190, 2014.

BAŞLAR, M.; KILIÇLI, M.; YALINKILIÇ, B. Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 27, p. 495–502, 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm-Wiss u-Technol**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Alimentos regionais brasileiros/Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, **Departamento de Atenção Básica**. – 2. ed. – Brasília: Ministério da Saúde, 484 p., 2015.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005, Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis, revogando a resolução – CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília 23 de setembro de 2005.

BÜYÜKTUNCEL, E.; PORGALI, E.; ÇOLAK, C. Comparison of Total Phenolic Content and Total Antioxidant Activity in Local Red Wines Determined by Spectrophotometric Methods. **Food and Nutrition Science**, v. 5, p. 1660-1667, 2014.

CANTÍN, C. M.; MORENO, M. A.; GOGORCENA, Y. Evaluation of the Antioxidant Capacity, Phenolic Compounds, and Vitamin C Content of Different Peach and Nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] Breeding Progenies. **Journal Agricultural and Food Chemistry** 57, p. 4586–4592, 2009.

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, n. 2, p. 200–207, 2012.

CELESTINO, S. M. C. Documento 276: Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - **Embrapa Cerrados**, 51 p., 2010.

CEVALLOS-CASALS, B. A.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. **Food Chemistry** 119, 1485–1490, 2010.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813–835, 2011.

CHEN, J.; ZHANG, S.; YANG, X. Control of brown rot on nectarines by tea polyphenol combined with tea saponin. **Crop Protection** 45, p. 29-35, 2013.

CHEN, Z. G.; GUO, X. Y.; WU, T. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 30, p. 28–34, 2016.

CIESLIK, E.; GREDA, A.; ADAMUS, W. Contents of polyphenols in fruit and vegetables. **Food**

Chemistry 94, p. 135–142, 2006.

CRANK J. **Mathematics of diffusion**. 2ed. Oxford: Clarendon Press, 414 p., 1975.

CRUZ, A. G.; ZACARCHENCO, P. B.; OLIVEIRA, C. A. F.; CORASSIN, C. H. **Processamento de Leites de Consumo**. Coleção Lácteos – Volume 2. 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier (Lácteos), 2017.

DELGADO, T.; PEREIRA, J. A.; BAPTISTA, P.; CASAL, S.; RAMALHOSA, E. Shell's influence on drying kinetics, color and volumetric shrinkage of *Castanea sativa* Mill. fruits. **Food Research International**, v. 55, p. 426–435, 2014.

DROGOUDI, P.; PANTELIDIS, G. E.; GOULASC, V.; MANGANARIS, G. A.; ZIOGAS, V.; MANGANARIS, A. The appraisal of qualitative parameters and antioxidant contents during postharvest peach fruit ripening underlines the genotype significance. **Postharvest Biology and Technology**, v. 115, p. 142–150, 2016.

DYMEK, K.; DEJMEK, P.; GALINDO, F. G.; WISNIEWSKI, M. Influence of vacuum impregnation and pulsed electric field on the freezing temperature and ice propagation rates of spinach leaves. **LWT - Food Science and Technology** xxx, p. 1 – 6, 2015.

EDELMANN, C. Opening address. **Vacuum**. Volume 47, p. 315 – 316, 1996.

ELSADR, H. T.; SHERIF, S. Peaches and Nectarines. **Encyclopedia of Food and Health**. p. 270–276, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pesquisa e Abastecimento. Ciência que transforma. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira>>. Acesso em 2 jul. 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid57plx02wyiv80z4s4737f5asrp.html> Acesso em Ago. 2018.

FAN, K.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. Application of airborne ultrasound in the convective drying of fruits and vegetables: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, 2017.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; CÁRCEL, J. A. Effects of Ultrasound-Assisted Air Drying on Vitamins and Carotenoids of Cherry Tomatoes. **Drying Technology An International Journal**, vol. 34, 2015.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. Conceitos e importância da modelagem matemática de qualidade da água para gestão dos recursos hídricos. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais** V. 9-N. 3, p. 487-503, 2013.

GAMBOA-SANTOS, J.; MONTILLA, A.; CARCEL, J.A.; VILLAMIEL, M.; GARCIA-PEREZ, J.V. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. **Journal of Food Engineering** 128, p. 132–139, 2014.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. F. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GIL, M. I.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; HESS-PIERCE, B.; KADER, A. A. Antioxidant Capacities, Phenolic Compounds, Carotenoids, and Vitamin C Contents of Nectarine, Peach, and Plum Cultivars from California. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50, p. 4976–4982, 2002.

GONÇALVES, F. P.; MARTINS, M. C.; SILVA JUNIOR, J. G.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Postharvest control of brown rot and Rhizopus rot in plums and nectarines using carnauba wax. **Postharvest Biology and Technology** 58, p. 211–217, 2010.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, p. 169-174, 1961.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Tabelas de Composição Nutricional dos Alimentos Consumidos no Brasil. 351p., Rio de Janeiro, 2011.

INYANG, U. E.; OBOH, O.; ETUK, B. R. Kinetic Models for Drying Techniques - Food Materials. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 8, p. 27–48, 2018.

KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica dos alimentos: teoria e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 256, 2008.

LEMMENS, L.; COLLE, I.; BUGGENHOUT, S. V.; PALMERO, P.; LOEY, A. V.; HENDRICKX, M. Carotenoid bioaccessibility in fruit- and vegetable- based food products as affected by product (micro) structural characteristics and the presence of lipids: A review. **Trends in Food Science & Technology** 38, p. 125 - 135, 2014.

LINS, A. D. F.; COSTA, J. D. S.; MOREIRA, I. S.; NUNES, E. N.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ALEXANDRE, H. V. Comparação de dois métodos de secagem em frutos de nectarina. **Revista Espacios**. Vol. 38 (Nº 16), p. 5-14, 2017.

LOMAURO C.J., BAKSHI A.S., LABUZA T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologies**, v. 18, p. 112-122, 1985.

LOPEZ, G; ECHEVERRIA, G; BELLVERT, J.; MATA, M; BEHBOUDIAN, M. H.; GIRONA, J.; MARSAL, J. Water stress for a short period before harvest in nectarine: Yield, fruit composition, sensory quality, and consumer acceptance of fruit. **Scientia Horticulturae** 211, p. 1-7; 2016.

MADAMBAMBA, P. S., DRISCOLL, R. H., & BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, 29, p. 75–97, 1996.

MAGALHÃES, L. M.; CARTAXO, S. J. M.; GALLÃO, M. I.; GARCÍA-PÉREZ, J. V., JUAN A. CÁRCEL, J. A.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Drying intensification combining ultrasound pre-treatment and ultrasound-assisted air drying. **Journal of Food Engineering**. Vol. 215, p. 72-77, 2017.

MATIAS, R. G. P.; BRUCKNER, C. H.; CARNEIRO, P. C. S.; SILVA, D. F. P.; SILVA, J. O. C. Repeatability, correlation and path analysis of physical and chemical characteristics of peach fruits. **Rev. Bras. Frutic**, v. 36, n. 4, p. 971-979, 2014.

MEDEIROS, R. A. B.; BARROS, Z. M. P.; CARVALHO, C. B. O.; FRAGA NETA, E. G.; MACIEL, M. I. S.; AZOUBEL, P. M. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. **LWT - Food Science and Technology** 67, p. 167 – 173, 2016.

MEGÍAS-PÉREZ, R.; GAMBOA-SANTOS, J.; SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M.; MONTILLA, A. Survey of quality indicators in commercial dehydrated fruits. **Food Chemistry**, vol. 150, p. 41-48, 2014.

MENDONÇA, K. S.; CORRÊA, J. L. G.; JUNQUEIRA, J. R. J.; CIRILLO, M. A.; FIGUEIRA, F. V.; CARVALHO, E. E. N. Influences of convective and vacuum drying on the quality attributes of osmo-dried pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) slices. **Food Chemistry** 224, p. 212–218, 2017.

MITIC, V.; ILIC, M.; DIMITRIJEVIC, M.; CVETKOVIC, J.; CIRIC, S.; JOVANOVIC, V. S. Chemometric characterization of peach, nectarine and plum cultivars according to fruit phenolic content and antioxidant activity. **Fruits** 71, p. 57–66, 2016.

MONTEIRO, R. L.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. A Microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. **Journal of Food Engineering**, p. 1-11, 2016.

MUSIELAK, G.; MIERZWA, D.; KROEHNKE, J. Trends in Food Science & Technology Food drying enhancement by ultrasound—A review. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 56, p. 126–141, 2016.

NÓBREGA, E. M.; OLIVEIRA, E. L.; GENOVESE, M. I.; CORREIA, R. T. P. The impact of hot air drying on the physical-chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation** ISSN 1745-4549. 2014.

NOWACKA, M.; WIKTOR, A.; SLEDZ', M.; JUREK, N.; WITROWA-RAJCHERT, D. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **Journal of Food Engineering** 113, p. 427–433, 2012.

NOWACKA, M.; FIJALKOWSKA, A.; DADAN, M.; RYBAK, K.; WIKTOR, A.; WITROWA-RAJCHERT, D.. Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive

compounds of cranberries. **Ultrasonics**, v. 83, p. 18–25, 2018.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C. **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN. 234 p., 2015.

ONWUDE, D. I. HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 599–618, 2016.

ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R.; ABDAN, K.; CHEN, G.; OLADEJO, A. O. Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 43, p. 223–238, 2017.

OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. The thin-layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 225–233, 1999.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n.1, p. 36–60, 2013.

PATIST, A.; BATES, D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, p. 147–154, 2008.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288–292, 2001.

PBMH & PIF - Programa Brasileiro para a modernização da Horticultura & produção integrada de frutas. **Normas de classificação de pêssego e nectarina: *Prunus persica* (L.) Batsch**. São Paulo: CEAGESP (Documentos 31), 2008.

PEREA-FLORES, M. J.; GARIBAY-FEBLESB, V.; CHANONA-PÉREZA, J. J.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; MÉNDEZ-MÉNDEZC, J. V.; PALACIOS-GONZÁLEZ, E.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F. Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. **Industrial Crops and Products**, v. 38, n. 1, p. 64–71, 2012.

PICÓ, Y. Ultrasound-assisted extraction for food and environmental samples. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 43, p. 84–99, 2013.

PRABHAKAR, K.; MALLIKA, E. N. Dried Foods. **Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition**, v. 1, p. 574–576, 2014.

QUEEN VICTORIA MARKET. Corner of Elizabeth & Victoria Streets, Melbourne. Disponível em: <<http://www.qvm.com.au/seasonal-produce/nectarine/>> Acesso em 08 de nov. 2017.

RAMOS, G. Vidas Secas. 83ª Edição, p. 72. Rio de Janeiro: Record. 2001.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparison and optimization of

conventional and ultrasound assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue. **LWT - Food Science and Technology**, v. 85, p. 158–169, 2017.

RODRIGUES-AMAYA, D. B., KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes brasileiras de carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos**. [s.l: s.n.]. 100 p., Brasília: MMA/SBF, 2008.

RODRÍGUEZ, J.; MULET, A.; BON, J. Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics in fixed beds of high porosity. **Journal of Food Engineering**, v. 127, p. 93–102, 2014.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI Press: SCOTT, J., REBEILLE, F., FLETCHER, J. Folic acid and folates – the feasibility for nutritional enhancement in plant foods. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 6, p.56-67, 1999.

ROMERO, C. A.; YÉPEZ, B. D. Ultrasound as pretreatment to convective drying of Andean blackberry (*Rubus glaucus Benth*). **Ultrasonics Sonochemistry** 22, p. 205–210, 2015.

SÃO JOSÉ, J. F. B.; ANDRADE, N. J.; RAMOS, A. M.; VANETTI, M. C. D.; STRINGHETA, P. C.; CHAVES, J. B. P. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. **Food Control**, v. 45, p. 36–50, 2014.

SILVA, G. D. **Influência do uso do vácuo e/ou ultrassom como pré-tratamento em parâmetros de qualidade do melão (*Cucumis melo var. cantalupensis Naud.*) seco**. Dissertação de mestrado. Recife, PE: UFPE, 105p., 2016.

SILVA, G. D.; BARROS, Z. M. P.; MEDEIROS, R. A. B.; CARVALHO, C. B. O.; BRANDÃO, S. C. R.; AZOUBEL, P. M. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and Vacuum. **LWT - Food Science and Technology** 74, p. 114-119, 2016.

SILVA JUNIOR, E. V. **Secagem de mamão assistida de ultrassom e vácuo**. Dissertação de mestrado. Recife, PE: UFPE, 101p., 2018.

SILVA JÚNIOR, E.V.; MELO, L.L.; MEDEIROS, R.A.B.; BARROS, Z.M.P.; AZOUBEL, P.M. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. **LWT - Food Science and Technology**, 97, 317-322, 2018.

SILVA, M. A.; CORRÊA, J. L. G. Academic Research on Drying in Brazil 1970 – 2003. **Drying Technology**, v. 23, n. 7, p. 1345-1359, 2005.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R.S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity in plant products. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669–682, 2010.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods Enzymol**, San Diego, v. 299, p. 152- 178, 1999.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; GREIBY, I.; DOLAN, K. D. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of ‘Tommy Atkins’ mango peel and kernel as affected by drying methods. **Food Chemistry** 141, p. 2649–2655, 2013.

STEINBERG, E. **Pêssego e nectarina**. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 64 p. 1989.

SWAIN, T.; HILLIS, W.E. The phenolic constituents of *prunus domestica*. The quantitative analysis of Phenolic constituents. **Journal of the Science of food and Agriculture**, v. 10, p. 63-68, 1959.

SZADZINSKA, J.; KOWALSKI, S. J.; STASIAK, M. Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 103, p. 1065–1074, 2016.

TECHNOLOGY FOCUS. Dry vacuum technology in heat treatment processes. **World Pumps**. Issue 10, p. 12-13, 2015.

TEKIN, Z. H.; BAŞLAR, M.; KARASU, S.; KILICLI, M. Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 6, 2017.

TIWARI, B. K. Trends in Analytical Chemistry Ultrasound : A clean , green extraction technology. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 71, p. 100–109, 2015.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 63, p. 91–102, 2017.

TZEMPELIKOS, D. A.; VOURO, A. P.; BARDAKAS, A. V.; FILIOS, A. E.; MARGARIS, D. P. Experimental study on convective drying of quince slices and evaluation of thin-layer drying models. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 8, n. 3, p. 169–177, 2015.

WANG, C. Y., & SINGH, R. P. A single layer drying equation for rough rice. **American Society of Agricultural Engineers** (Paper No. 3001), 1978.

WANG, T.; GUO, N.; WANG, S.; KOU, P.; ZHAO, C.; FU, Y. Ultrasound-negative pressure cavitation extraction of phenolic compounds from blueberry leaves and evaluation of its DPPH radical scavenging activity. **Food and Bioproducts Processing** 108, p. 69–80, 2018.

XI, Y.; FAN, X.; ZHAO, H.; LI, X.; CAO, J.; JIANG, W. Postharvest fruit quality and antioxidants of nectarine fruit as influenced by chlorogenic acid. **Food Science and Technology**, v. 75, p. 537–544, 2017.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN, H. I. Mathematical modeling of thin-layer solar drying of sultana grapes. **Energy**, v. 26, p. 457-465, 2001.

ZECCHI, B.; CLAVIJO, L.; GARREIRO, J. M.; GERLA, P. Modeling and minimizing process time of combined convective and vacuum drying of mushrooms and parsley. **Journal of Food Engineering**, p. 49–55, 2011.

ZOTARELLI, M. F.; PORCIUNCULA, B. D. A.; LAURINDO, J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering** 108, p. 523–531, 2012.