

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

SHIRLEY CLYDE RUPERT BRANDÃO

**SECAGEM POR INFRAVERMELHO DE
MELÃO PRÉ-TRATADO COM ETANOL: ESTUDO CINÉTICO E PARÂMETROS
DE QUALIDADE**

**Recife
2021**

SHIRLEY CLYDE RUPERT BRANDÃO

**SECAGEM POR INFRAVERMELHO DE
MELÃO PRÉ-TRATADO COM ETANOL: ESTUDO CINÉTICO E PARÂMETROS
DE QUALIDADE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito 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: Prof^a Dr^a. Patrícia Moreira Azoubel.

Coorientador: Prof. Dr^a. Fernanda Araújo Honorato

Recife
2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Josias Machado, CRB-4 / 1690

B817s Brandão, Shirley Clyde Rupert.
Secagem por infravermelho de melão pré-tratado com etanol: estudo cinético e parâmetros de qualidade / Shirley Clyde Rupert Brandão. – 2021. 77 f.: il., figs., tabs., abrev. e sigl.

Orientadora: Prof.^a Dra. Patrícia Moreira Azoubel.
Coorientadora: Prof.^a Dra. Fernanda Araújo Honorato.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Recife, 2021.
Inclui referências.

1. Engenharia química. 2. *Cucumis melo* L. 3. Desidratação. 4. Cinética. 5. Compostos bioativos. 6. Cor. 7. Espectroscopia NIR. I. Azoubel, Patrícia Moreira (Orientadora). II. Honorato, Fernanda Araújo (Coorientadora). III. Título.

UFPE

660.2 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-52

SHIRLEY CLYDE RUPERT BRANDÃO

**SECAGEM POR INFRAVERMELHO DE MELÃO PRÉ-TRATADO COM ETANOL:
ESTUDO CINÉTICO E PARÂMETROS DE QUALIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Química. Área de concentração: Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Aprovado em: 26/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Fernanda Pimentel Avelar (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Rafael Augusto Batista de Medeiros (Examinador Externo)
Instituto Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Yêda Medeiros Bastos de Almeida (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a meus avós maternos,
Charles Rupert e Lenira Jones (*in*
memorian). Sem eles, nada seria possível!
Gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Deus por toda a força e privilégio que me foi concedido.

À minha mãe e minha irmã, Mitzy Rupert e Michelle Rupert, por todo apoio e ajuda nos momentos difíceis, pelo amor incondicional e pelos conselhos nessa caminhada acadêmica.

À professora Dra. Patrícia Moreira Azoubel por ser minha inspiração, pela paciência. Obrigada por me ajudar e dar oportunidade para trilhar os caminhos acadêmicos.

À Professora Dra. Fernanda Honorato por ter aceitado ser minha coorientadora e por toda ajuda na construção desse projeto.

À Universidade Federal de Pernambuco, Capes e ao Departamento de Engenharia Química que foram essenciais no meu processo de formação profissional, pelo incentivo financeiro e por todo o conhecimento que aprendi ao longo desses anos.

Ao meu tio Romney Rupert e meu primo Willian Rupert por terem ajudado no projeto dessa dissertação.

Aos meus colegas de laboratório, os “*Pazoubinhos*”, Zilmar Pimenta, João Silva, Elaine, Guilherme Pessoa, Edilene Silva, Rafael Medeiros, Edvaldo Vieira, Amanda Lopes pela ajuda, por compartilharem conhecimentos e estarem sempre me ajudando durante, diretamente ou indiretamente, nas realizações dos experimentos. Obrigada Elaine e Guilherme por estarem comigo no laboratório durante os experimentos, pelas risadas e descontrações, sem vocês não seria tão leve quanto foi.

Aos meus professores e colegas do mestrado pelo companherismo e pela troca de experiência, pelos estudos antes das provas, pelos conhecimentos compartilhados.

Aos meus amigos João Marcelo, Arthur Farias, Dany Mariano, Thalita Cavalcanti, Lorena Paes Barreto por 15 anos de irmandade, risada e companherismo.

Obrigada a todos que fizeram e fazem parte da minha vida e a todos que ajudaram direta ou indiretamente nessa pesquisa.

RESUMO

A secagem é uma técnica que tem por objetivo retirar parte da água contida nos alimentos e aumentar o tempo de prateleira deles. O método convectivo é o mais utilizado pela indústria, entretanto o uso de diferentes técnicas de pré-tratamento tem sido estudadas a fim de diminuir o tempo de realização desse processo, de forma a reduzir os custos de produção e, também, minimizar as alterações na qualidade do alimento. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da secagem por infravermelho do melão Cantaloupe (*Cucumis melo L.*) com e sem pré-tratamento etanólico, por diferentes tempos de imersão. Na etapa de pré-tratamento, as amostras foram imersas em diferentes tempos (10, 20 e 30 min) e em diferentes concentrações de etanol (100% e 50%). As secagens foram realizadas em um secador infravermelho, a uma temperatura fixa de 60 °C. As análises de qualidade realizadas nas amostras frescas e secas foram atividade de água, cor, teor de ácido ascórbico, teor de fenólicos totais e teor de carotenoides totais. Os resultados dessas análises foram comparados com análises realizadas com a utilização de um microNIR portátil. Seis modelos de ajuste da camada fina foram utilizados para ajustes aos dados experimentais de secagem. As amostras pré-tratadas em solução de etanol 100% por 30 min obtiveram o menor tempo de secagem. A difusividade efetiva da água variou de $5,55 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $11,79 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, o que nos mostra que uma maior concentração de etanol aumenta o valor da difusividade. O modelo de Page obteve o melhor ajuste aos dados experimentais, com o maiores coeficientes de determinação (R^2) e os menores desvios relativos. A secagem resultou numa redução considerável dos teores de compostos bioativos do melão Cantaloupe. As amostras que foram imersas no etanol 50%, de forma geral, mostraram menores perdas nos teores de fenólicos totais, carotenóides e nos teores de ácido ascórbico. Em relação à atividade de água, todas as amostras apresentaram valores abaixo de 0,60, o que demonstra segurança do ponto de vista microbiológico. Nos parâmetros de cor, houve um decréscimo nos valores da luminosidade em todas as condições estudadas (L^*), enquanto os parâmetros da cor vermelha (a^*) e da cor amarela (b^*) foram intensificados. Os modelos PLS obtidos para fenólicos totais e ácido ascórbico, baseados em espectros NIR, não apresentaram resultados satisfatórios. Os erros de calibração, validação e previsão foram elevados, baixa capacidade preditiva. A análise exploratória revelou a forte influência da absorção da água nos espectros.

Palavras chave: *Cucumis melo L.*; Desidratação; Cinética; Compostos bioativos; Cor; Espectroscopia NIR.

ABSTRACT

Drying is a technique that aims to remove part of the water contained in food and increase its shelf life. The use of pre-treatment techniques to speed up drying has been widely studied as it can reduce the time needed to carry out this process, that is, it reduces production costs and can also minimize the product's sensory alterations. This work aimed to evaluate the efficiency of infrared drying with and without ethanol pretreatment, at different times of immersion, in Cantaloupe melon (*Cucumis melo* L.). Seven types of pretreatments were used. The samples were immersed at different times (10, 20 and 30 minutes) and in different solutions of ethanol (100% and 50% of the ethanol/water ratio). Seven conditions were studied: control (without pre-treatment), 100% ethanol with immersed samples for 10 minutes (EtOH100% _10 min), 100% ethanol with immersed samples for 20 minutes (EtOH100% _20 min), 100% ethanol with samples immersed for 30 minutes (EtOH100% _30 min), 50% ethanol with immersed samples for 10 minutes (EtOH50% _10 min), 50% ethanol with immersed samples for 20 minutes (EtOH50% _20 min) and finally 50% ethanol with samples immersed for 30 minutes (EtOH50% _30 min). The dryings were performed in an infrared dryer, at a fixed temperature at 60 ° C. The quality analyzes were performed in the laboratory (water activity, color, ascorbic acid content, phenolic content, and carotenoid content) and were compared with analyzes performed with the use of a portable microNIR. The coefficients of effective diffusivity were calculated by means of diffusivity model based on Fick's law. Six thin layer fit models were used to fit to the experimental drying data. Samples pretreated in 100% ethanol solution for 30 min had the shortest drying time. The effective diffusivity of the water ranged from $5,55 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ to $11,79 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ which means that highest concentrate of ethanol increases the diffusivity value. The Page model obtained the best fit to the experimental data, with the highest coefficients of determination (R^2) and the lowest relative deviations. The condition that obtained the shortest drying time was the pre-treatment of 100% ethanol immersed for 30 minutes in the solution. All samples, including those in natura, were submitted to quality analyses. It was clear that in the drying process there was a considerable reduction in the values of the bioactive compounds of the Cantaloupe melon. The samples that were immersed in 50% ethanol, in general, showed lower losses of total phenolics, carotenoids and ascorbic acid. In the analysis of water activity, all samples showed values below 0.60, configuring safety for food storage. In the color parameters, there was a decrease in the luminosity values in all studied conditions (L^*). The parameters for redness (a^*) and yellowness (b^*) were intensified. The PLS models obtained for total phenolics and ascorbic acid, based on NIR spectra, did not show satisfactory results. Calibration, validation and prediction errors were high, predictive power low. Exploratory analysis revealed the strong influence of water absorption on the spectra.

Keywords: *Cucumis melo* L.; Dehydration; Kinetics; Bioactive compounds; Color; NIR spectroscopy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Principais tipos de melão	15
Figura 2	- Estruturas moleculares de alguns carotenóides: (A) carotenos, (B) xantofilas	18
Figura 3	- Curvas típicas de secagem	25
Figura 4	- Fluxograma experimental	35
Figura 5	- Tambor de ferro	36
Figura 6	- Lâmpadas de infravermelho	36
Figura 7	- Umidade do melão na base seca (X_{bs}) em função do tempo na secagem do melão nos métodos descritos na legenda	41
Figura 8	- Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental do melão utilizando o modelo de Page	45
Figura 9	- Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental do melão com pré-tratamento de EtOH 100% utilizando o modelo de Page	46
Figura 10	- Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental do melão com pré-tratamento de EtOH 100% utilizando o modelo de Page	46
Figura 11	- Espectros NIR das amostras secas do melão submetidas ao pré tratamento com EtOH (a), e pré-processadas por SNV (b).....	55
Figura 12	- Gráfico dos escores de PC1 x PC2 para os espectros médios das amostras in natura, controle e pré tratadas com etanol.....	56
Figura 13	- Gráfico dos pesos de PC1 x Variáveis espectrais.....	57
Figura 14	- Gráfico dos escores de PC1 x PC2 para os espectros médios das amostras controle e pré tratadas com etanol, excluindo amostras controle.....	58
Figura 15	- Gráfico dos pesos de PC1 x Variáveis espectrais, sem as amostras controle.....	58
Figura 16	- Gráfico dos valores previstos x medidos para fenólicos totais (a) e ácido ascórbico (b).....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Composição do melão por 100 g da parte comestível	17
Tabela 2	- Modelos matemáticos para cinética de secagem	26
Tabela 3	- Teor de umidade na base seca (X_{bs}) do melão Cantaloupe após o pré-tratamento com Etanol	40
Tabela 4	- Porcentagem da redução do tempo, em comparação com a amostra controle, para que as amostras atingissem o equilíbrio na cinética de secagem	42
Tabela 5	- Paramêtros dos modelos ajustados aos dados de secagem do melão Cantaloupe	44
Tabela 6	- Valores da difusividade efetiva (D_{ef}) para nectarina nos diferentes métodos de secagem	48
Tabela 7	- Tempo necessário para que as amostras atinjam 20% de umidade na base umida (X_{bu})	48
Tabela 8	- Valores médios de atividade de água (a_w) do melao in natura e pelos respectivos métodos	49
Tabela 9	- Valores médios para cor do melão cantaloupe in natura e seca pelos respectivos métodos	50
Tabela 10	- Valores médios em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para o teor de fenólicos totais do melão cantaloupe in natura e seca pelos respectivos métodos	51
Tabela 11	- Valores médios em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para o teor de ácido ascórbico (vitamina C) do melão Cantaloupe in natura e seca pelos respectivos métodos	53
Tabela 12	- Valores médios em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para o teor de Carotenóide totais do melão Cantaloupe in natura e seca pelos respectivos métodos	53
Tabela 13	- Consumo de energia durante a secagem do melão Cantaloupe	55
Tabela 14	- Parâmetros estatísticos obtidos para os modelos PLS para fenólicos totais e ácido ascórbico.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_w	Atividade de água
a^*	Intensidade da cor vermelha (+) e verde (-) da fruta pós secagem
b^*	Intensidade da cor amarela (+) e azul (-) da fruta pós secagem
D_{ef}	Difusividade Efetiva
EAG	Equivalente ácido gálico
EtOH	Etanol
IV	Infravermelho
kWh	KiloWatt-hora
L^*	Luminosidade da fruta pós secagem
Min	Minuto
MS	Massa Seca
X_{bs}	Umidade na base seca
X_{bu}	Umidade na base úmida
US	Ultrassom
ΔE	Diferença média de cor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	MELÃO	15
3.1.1	Propriedades Nutricionais	16
3.1.2	Compostos bioativos.....	17
3.2	SECAGEM DE ALIMENTOS.....	19
3.2.1	Secagem por infravermelho.....	20
3.2.3	Pré-tratamento com etanol	23
3.3	CINÉTICA DE SECAGEM	24
3.3.1	Modelos matemáticos	26
3.4	ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO ALIMENTO	27
3.4.1	Aplicação da espectroscopiade infravermelho próximo (NIR) na caracterização funcional	27
3.5	QUIMIOMETRIA	28
3.5.1	Processamento dos dados espectrais	29
3.5.2	Análise exploratória dos dados espectrais-PCA	29
3.5.3	Calibração Multivariada	30
<i>3.5.3.1</i>	<i>Eficiência dos modelos</i>	<i>32</i>
3.5.4	Espectroscopia NIR e calibração PLS aplicadas a determinação de parâmetros de qualidade em alimentos	33
4	MATERIAS E MÉTODOS	34
4.1	MATÉRIA-PRIMA.....	34
4.2	METODOLOGIA	34
4.3	PRÉ-TRATAMENTO DA AMOSTRA	35
4.4	SECAGEM.....	36
4.5	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	37
4.5.1	Umidade	37
4.5.2	Atividade de água	37
4.5.3	Sólidos solúveis (°Brix).....	37

4.5.4	Cor	37
4.5.5	Teor de ácido ascórbico	38
4.5.6	Compostos fenólicos	38
4.5.7	Carotenoides totais	38
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
4.7	AQUISIÇÃO DOS ESPECTROS NIR	39
4.7.1	Análise multivariada - Modelo PLS para os parâmetros de qualidade	39
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	40
5.1	SECAGEM	40
5.1.1	Cinética de secagem	40
5.1.2	Modelos de camada fina	43
5.1.3	Difusividade efetiva	47
5.2	AVALIAÇÃO DE QUALIDADE	48
5.2.1	Atividade de água	49
5.2.2	Cor	50
5.2.3	Compostos fenólicos totais	51
5.2.4	Teor de ácido ascórbico	52
5.2.5	Teor de Carotenoides totais	53
5.2.6	Consumo energético	54
5.2.7	Análise espectral NIR	56
5.2.8	Calibração multivariada - Modelos PLS para os parâmetros de qualidade	60
6	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) é amplamente cultivado e comercializado como fruta. No Brasil, a fruticultura e a olericultura são atividades econômicas geradoras de riqueza e distribuidoras de renda. O país é o terceiro maior produtor mundial de frutas, tendo uma produção em 2019 de 41 milhões de toneladas. Desse total, em torno de 3% a 5% foram exportados, representando um crescimento de 16% em volume nas exportações de frutas, com destaque para a manga, com aumento de 30%, melão com 27%, uva com 19% e limão com 10% (KESH et al., 2021; MAPA, 2020; CNA, 2020).

O melão é um fruto que teve seu cultivo em escala comercial no Brasil iniciado na década de 60. A cultura estabeleceu-se em São Paulo e no Rio Grande do Sul, porém, no início dos anos 80, com a adaptação climática, foi possível sua transferência para a Região Nordeste (BRITO, 2017). Considerando o processo produtivo, os alimentos são suscetíveis à deterioração e os índices de perdas são cumulativos durante toda a cadeia de comercialização. Esse fato torna necessária a utilização de técnicas e de tecnologias adequadas, com a finalidade de proporcionar um período de conservação mais longo aos vegetais. Assim, o produtor possui maior flexibilização na comercialização, o que reflete em maior rendimento financeiro, além da garantia para o consumidor de obter, com regularidade, produtos de melhor qualidade (ROSA et al., 2018; LEONARDI; AZEVEDO, 2018).

A relevância da tecnologia de alimentos está no desenvolvimento de métodos e processos que possam reduzir as perdas, aumentando sua vida de prateleira sem abrir mão da qualidade e o aproveitamento de subprodutos (NESPOLO, 2015). A secagem é um processo que pode ser utilizado com essa finalidade, além de possibilitar a obtenção de novas formas de consumo, reduzir custo de transporte e armazenamento, sendo a forma mais comum de remover a água dos alimentos (WOJDYLO et al., 2016). Contudo, a baixa eficiência energética e o tempo prolongado da secagem de produtos agrícolas por métodos convencionais levaram à busca de novas opções tecnológicas, incluindo a secagem por infravermelho (SALEHI et al., 2017), que vem ganhando atenção como um método alternativo em diferentes produtos de origem agrícola.

Com o objetivo de acelerar esse processo de secagem, a utilização do etanol no pré-tratamento, seja pela inserção na superfície ou como componente de atmosfera modificada, também pode ser uma alternativa. Esse solvente orgânico é capaz de atuar na dissolução de membranas celulares, modificando a estrutura natural do material a ser desidratado,

possibilitando a melhora na transferência de umidade e aumentando a velocidade de secagem. Além de reduzir o tempo de secagem, também há relatos de que promove a retenção de compostos voláteis e a preservação das características nutricionais dos alimentos (BRAGA et al., 2010, NISHINO, 2013, BIANCHETTI, 2019)

Diante do exposto, esta proposta tem como objetivo avaliar a aplicação da secagem por infravermelho de melão, associadas ao uso do etanol como pré-tratamento. Por fim, fazer as correlações entre análises de qualidade e os métodos de referência, com a utilização da espectroscopia de infravermelho.

2 OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivo específicos, como descritos a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do etanol como pré-tratamento na secagem por infravermelho de melão Cantaloupe e seus efeitos na qualidade final do produto, além de verificar a viabilidade da aplicação da Espectroscopia de infravermelho para a detecção e análise de compostos bioativos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar e comparar as cinéticas de secagem por infravermelho do melão Cantaloupe com e sem pré-tratamento com etanol;
- Avaliar a influência do processamento no tempo de secagem e em compostos bioativos da fruta.
- Verificar a correlação entre os resultados das análises de ácido ascórbico e fenólicos totais obtidos por espectroscopia de infravermelho e pelos métodos de referência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi realizada a partir dos principais e mais importantes tópicos. Iniciando com uma revisão bibliográfica do melão, seguido da secagem dos alimentos, cinética de secagem, análise físico-química dos alimentos e, por fim, a quimiometria.

3.1 MELÃO

O fruto do meloeiro (*Cucumis melo* L.) é apreciado no mundo todo e, embora a planta seja botanicamente uma hortaliça, é comercializado como fruta. No Brasil, grande parte da produção concentra-se na região Nordeste, no Vale do São Francisco (Bahia e Pernambuco) e, principalmente, no Polo Jaguaribe-Açu (Ceará e Rio Grande do Norte). O melão exibe enorme variação no tamanho, forma, cor, sabor textura e composição química, apresentando, de um modo geral, forma arredondada com certa de 20 cm de comprimento e peso variável de acordo com o cultivar (Figura 1) (CELIN et al., 2014; FERGANY et al., 2010)

Figura 1- Principais tipos de melão (EMBRAPA, 2017)

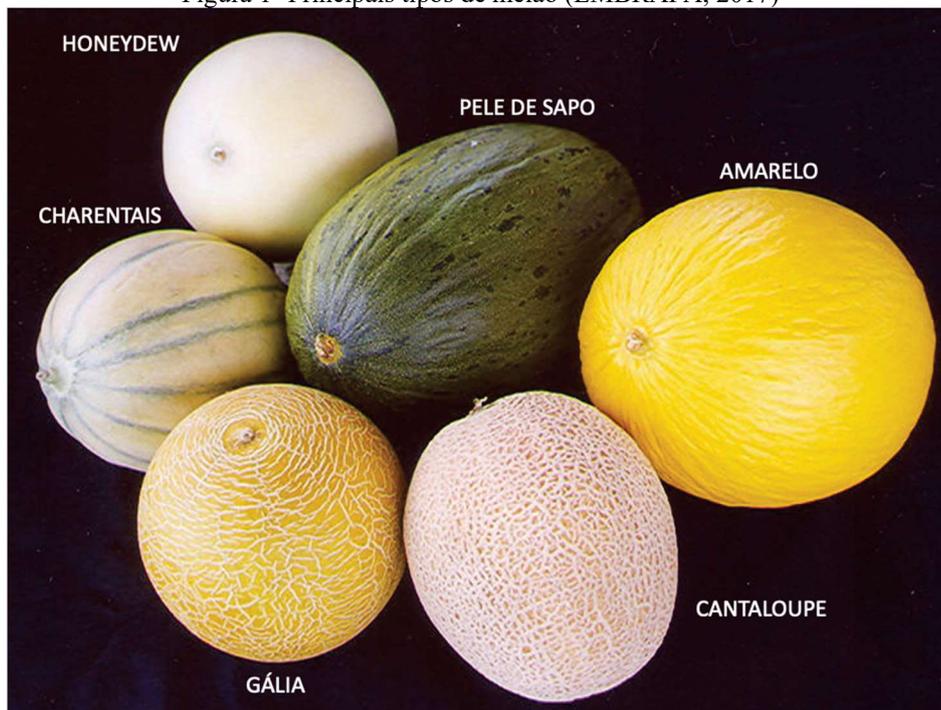


Foto: Cláudio Norões

O melão pertence à família *Cucurbitaceae* e ao gênero *Cucumis*, sendo que as principais variedades produzidas no Brasil para fins comerciais são: Inodoros (*Cucumis melo inodorus*) e Aromáticos (*Cucumis melo reticulatus* e *C. melo cantaloupensis*). Os melões do grupo inodoros apresentam frutos de coloração amarelada, branca ou verde-escuro, casca lisa

ou levemente enrugada, alta durabilidade e elevada resistência ao transporte pós-colheita. A polpa é espessa, com coloração que varia de branco a verde-claro. São classificados como inodoros os melões Amarelos e Pele de Sapo. O grupo de melões aromáticos possuem fragrância agradável, casca de coloração que varia de amarelada a esverdeada e recoberta por rendilhamento corticoso. A polpa é espessa, de cor que vai do amarelo ao salmão. São classificados como aromáticos os melões Cantaloupe, Charentais, Galia e Honey Dew (MENEZES et al., 2000; EMBRAPA, 2017, CRISÓSTOMO et al., 2009).

O melão Cantaloupe (*Cucumis melo* L. var *cantalupensis*) ou japonês, pertencente ao gênero aromático, apresenta uma casca rendilhada, com formato arredondado, com peso variando de 1,0 a 1,5 kg (LESTER, 2008). São valorizados pela sua doçura, polpa aromática e refrescante (ALLWOOD et al., 2014).

Estruturalmente, o melão é composto de epicarpo (casca), a camada mais externa com cerca de 0,5 cm de espessura, mesocarpo e endocarpo (antecasca e polpa com espessura de 3,7 cm em média), placenta (uma espécie de pele que separa as sementes da polpa) e sementes, constituindo a cavidade interna com cerca de 5,8 cm (QUEIROGA et al., 2010).

3.1.1 Propriedades nutricionais

O alimento em sua integralidade apresenta potencialidade que vai além das suas funções nutricionais normais, como fonte de energia e substrato para formação de células e tecidos. Pode possuir, em sua composição, uma ou mais substâncias capazes de atuar como moduladores de processos metabólicos, melhorando as condições de saúde, promovendo o bem-estar e prevenindo surgimento de doenças degenerativas (COELHO e WOSIACKI, 2010).

A composição química de frutas depende grande parte do tipo da fruta e do seu grau de amadurecimento. Os componentes fundamentais são açúcares, polissacarídeos e ácidos orgânicos. De composição variada, a depender da parte da fruta, têm-se os compostos nitrogenados e lipídicos. Dentre os compostos nitrogenados, destacam-se as enzimas pectinolíticas, celulasas e peroxidases. Além disso, não menos importantes são encontrados os componentes do metabolismo secundário, como os pigmentos e compostos aromáticos, vitaminas, minerais e compostos fenólicos (CHAMPE, HARVEY e FERRIER, 2008).

O melão é especialmente rico em elementos minerais, em particular potássio, sódio e fósforo. Já o valor energético é relativamente baixo, 20 kcal/100 g a 62 kcal/100 g de polpa, e a porção comestível representa 55% do fruto (EMBRAPA, 2010). De acordo com a TACO

(2011), a parte comestível do melão possui, em 100 g, 91,3% de umidade, além de macronutrientes e micronutrientes (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição do melão por 100 g da parte comestível.

Macronutrientes	Micronutrientes				
	Vitaminas			Minerais	
Energia (kcal)	29,0	Vitamina A (EAR) (µg)	-	Cálcio (mg)	3,0
Proteína (g)	0,7	Vitamina B1 (mg)	Tr	Magnésio (mg)	6,0
Lipídeos (g)	Tr	Vitamina B2 (mg)	Tr	Fósforo (mg)	10,0
Carboidratos (g)	7,5	Vitamina B3 (mg)	Tr	Ferro (mg)	0,2
Fibra alimentar (g)	0,3	Vitamina E (mg)	-	Potássio (g)	216,0
Carboidratos(g)	7,5	Vitamina C (mg)	8,7	Cobre (mg)	0,04
				Zinco (mg)	0,1

Tr: Traços

Fonte: TACO (2011)

Os benefícios para o consumidor, principalmente frutos com polpa de coloração salmão, em termos nutricionais, são o suprimento total das exigências de vitaminas A e C, além de ser fontes significativas de outros nutrientes como açúcar, fibras, cálcio, iodo, potássio e fitoquímicos. Estes últimos são compostos que, recentemente, tiveram seu valor nutricional reconhecido. O melão contém 38 compostos, alguns com atributos anticancerígenos (EMBRAPA, 2010).

3.1.2 Compostos bioativos

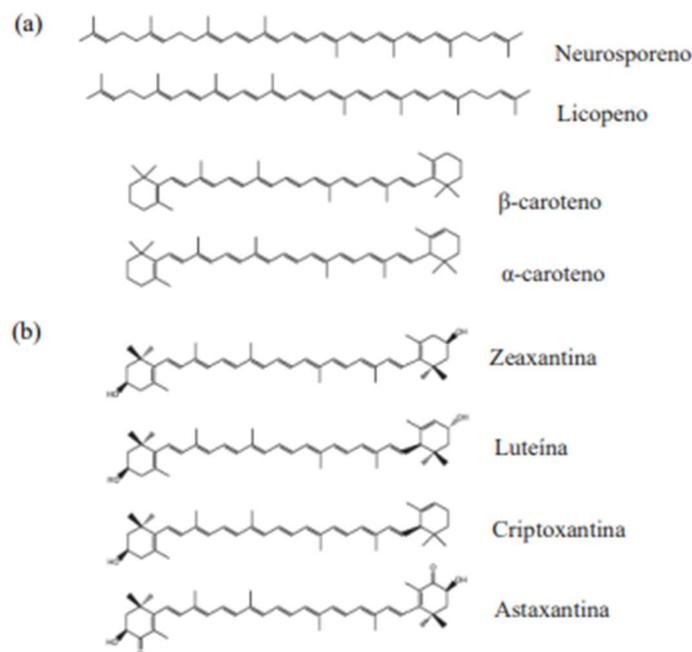
Frutas e hortaliças são consideradas as fontes mais importantes de compostos bioativos com efeito benéfico comprovado na dieta humana (FRANCINI et al., 2020). Esses compostos bioativos são de interesse do consumidor pelo seu potencial benefício para a saúde, especialmente em relação a diversas doenças relacionadas ao envelhecimento e ao estresse. No entanto, as moléculas bioativas também possuem propriedades de preservação que prolongam a vida útil do produto. Tecnologias pós-colheita e condições de armazenamento podem reduzir a degradação de compostos bioativos e alguma operação industrial pode até promover seu acúmulo (FRANCINI et al., 2020).

Os carotenoides são pigmentos naturais encontrados em plantas, frutas e bactérias. Por não serem sintetizados por seres humanos, devem ser ingeridos em alimentos ou via suplementação. Esses compostos apresentam uma cadeia de 40 átomos de carbono, com uma

série de duplas ligações conjugadas, responsável por algumas funções, onde se destaca a absorção de luz no espectro visível, atribuindo cores que variam do amarelo ao vermelho (GÜLÇİN et al., 2009; NISAR et al., 2015)

Estes compostos são divididos em duas classes principais com base em seus elementos estruturais: carotenos (Figura 2a) constituídos por carbono e hidrogênio (neurosporeno, β -caroteno, α -caroteno e licopeno), e xantofilas (Figura 2b) constituídas por carbono, hidrogênio e oxigênio (luteína, criptoxantina, zeaxantina e astaxantina) (JASWIR et al., 2011). São compostos bioativos com alta capacidade antioxidante, sendo o β -caroteno, licopeno, luteína e a zeaxantina os mais atuantes (MARINOVA et al., 2007).

Figura 2- Estruturas moleculares de alguns carotenóides: (a) carotenos e (b) xantofilas.



Fonte: Silva (2004)

Yano et al. (2005) afirma que na quantificação de carotenóides em frutas in natura e processadas no Japão, o melão é uma excelente fonte de carotenóides, principalmente β -caroteno, onde foi encontrado 6,086 mg 100 g⁻¹ e 0,043 mg 100 g⁻¹ nas polpas dos melões vermelho e amarelo, respectivamente.

Os compostos com atividades antioxidantes podem estar naturalmente presentes em frutas e vegetais, como por exemplo, as vitaminas C e E, carotenóides e compostos fenólicos, (VALMORBIDA & VITOLLO, 2014). Barros et al. (2017) afirmaram que 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 são quantificados em

miligramas e estão presentes nas frutas que, além de nutrir, são essenciais para manter a saúde.

As frutas são uma boa fonte de compostos antioxidantes naturais, nomeadamente polifenóis, que conferem inúmeros benefícios para a saúde. Esses compostos mostram propriedades antiproliferativas, antitumorais, antioxidantes, anti-inflamatórias e pró-apoptóticas antiobesidade e pode nos proteger contra doenças cardiovasculares e diabetes tipo II (WOJDYŁO et al., 2019).

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)

3.2 SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem de vegetais é um excelente método para se obter a estabilidade de armazenamento, evitando a adição de agentes químicos conservantes (PERERA, 2005). É uma operação de transferência de calor e massa, acompanhada por mudanças físicas e estruturais do material, envolvendo a retirada de água de um sistema sólido ou semissólido por vaporização térmica. Durante a secagem, é necessário que haja o fornecimento de calor para que ocorra a evaporação ou remoção de água do material. Assim, um material sólido após entrar em contato com uma corrente gasosa, sob temperatura e umidade fixas, tendem a estabelecer o equilíbrio, embora ocorram certos diferenciais em função do movimento relativo à transferência de calor e massa. Com isso, a redução do teor de umidade dos alimentos e, conseqüentemente, da atividade de água, inibe o crescimento microbológico e atividade enzimática, aumentando o tempo de prateleira dos materiais (BRAGA e SILVA, 2010; ZOTARELLI et al., 2012).

Inúmeras são as vantagens da secagem de alimentos, tais como a facilidade na conservação do produto, redução do peso, economia de energia por não necessitar de refrigeração, disponibilidade do produto durante qualquer época do ano, garantindo, assim, a viabilidade econômica e segurança microbológica pela eliminação de água do material (PARK, 2001a, 2001b).

A produção de alimentos secos em larga escala é frequentemente realizada pela utilização da secagem convectiva (OKOS et al., 2007). Segundo Park et al. (2007), na secagem

por convecção, o ar pré aquecido passa sob o alimento, vaporiza a água deste e a transporta para fora do secador. Para que haja economia de energia, o ar pode ser recirculado. As principais condições a serem controladas são temperatura e umidade do ar aquecido (VILELA; ARTUR, 2008). Durante a secagem, a transferência de massa é controlada por dois tipos de resistência: a resistência interna ao movimento da água dentro do alimento e a resistência externa entre a superfície do sólido e o ar (ROSSELLÓ et al., 1997).

O uso do ar quente por tempos prolongados durante a secagem pode deteriorar a qualidade do produto final (decomposição da cor, degradação de vitamina, perda de aminoácidos essenciais, entre outros) (CHEN e MUJUMDAR, 2009). Ainda, gera um significativo gasto energético e, conseqüentemente, pode se tornar um processamento de custo elevado. Assim, tecnologias têm sido desenvolvidas buscando a manutenção da qualidade de alimentos secos, bem como a melhoria e otimização das existentes, maximizando, assim, atributos como estrutura, cor, aroma, valores nutricionais e capacidade de reidratação (PERERA, 2005).

3.2.1 Secagem por Infravermelho

Na transferência de calor por radiação, a energia térmica é trocada por fonte eletromagnética, onde lâmpadas de quartzo são geralmente empregadas como fonte de radiação infravermelha (PARK, 2007).

A radiação IV tem algumas vantagens sobre a condução e a convecção, devido ao elevado coeficiente de transferência de calor, ao curto tempo de processo e ao baixo custo de energia (JUN et al., 2011). A secagem através desse método apresenta menor perda de energia quando comparado com a secagem com ar quente, já que a energia em onda eletromagnética é absorvida diretamente pelo produto (MONGPRANEET et al., 2002). Isso ocorre uma vez que o material é aquecido rapidamente e de maneira uniforme, já que a energia da radiação infravermelha é transferida ao produto sem aquecer o ar circundante (SWASDISEVI et al., 2007).

Quando usada para aquecer ou secar materiais úmidos, a radiação IV penetra o material exposto, sendo convertida em calor. A profundidade de penetração de radiação depende das propriedades do material e sobre o comprimento de onda. Quando o material é exposto à radiação, é intensamente aquecido e o gradiente de temperatura reduz em um curto período (BAPTESTINI et al., 2016).

A água tem uma grande absorção da radiação IV nos comprimentos de onda em torno de 2,7 – 3,3 μm , 6,0 μm e superior a 12,5 μm . As ligações O-H da água, ao absorverem a energia IV, passam a vibrar com mesma frequência da radiação incidente, provocando a evaporação de água. Isso explica por que esses comprimentos de onda são comumente utilizados em muitas situações para a secagem (SANDU,1986).

Embora muitas tecnologias de secagem tradicionais (ar quente, liofilização, secagem por micro-ondas) tenham sido aplicadas com sucesso a vários produtos alimentícios, cada técnica tem suas próprias vantagens e desvantagens. Novos métodos de secagem, como a secagem por infravermelho, tornaram-se muito populares (HUANG; YANG; TANG; LUO; SUNDEN, 2021).

Adak et al. (2017), avaliaram os efeitos de diferentes condições de secagem, como energia infravermelha, temperatura e velocidade do ar de secagem, na qualidade do morango. Eles concluíram que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da potência do infravermelho, da temperatura do ar e da velocidade. Doymaz (2015) estudou o efeito de diferentes potências de infravermelho na cinética de secagem de fatias de cenoura. Elas foram secas com a potências do infravermelho variado em 62, 74, 88, 104 e 125 W e espessura de fatia constante de 0,5 cm. Os resultados mostraram que a intensidade da potência do infravermelho tem um efeito significativo nas características de secagem, como por exemplo a reidratação, onde a potência de 88 W gerou mais estruturas porosas na cenoura e por consequência um aumento na taxa de reidratação.

Huang et al. (2021) estudaram a técnica de secagem no infravermelho em folhas de *Stevia rebaudiana*, avaliando a cinética e o teor de glicosídeo das folhas secas e a estrutura da superfície do material seco. A secagem foi realizada em diferentes temperaturas (45 °C- 65 °C) e alturas de irradiação (60-300 mm). Em diferentes condições, a taxa de umidade diminuiu e a taxa de secagem aumentou significativamente com o aumento da temperatura de secagem e a diminuição da altura de irradiação. Ao comparar o conteúdo de glicosídeo de produtos secos sob diferentes condições de secagem, descobriu-se que a secagem no infravermelho distante poderia resultar em melhores retenções. A temperatura de secagem teve efeito sobre os ingredientes ativos das amostras quando aumentou de 45 °C para 55 °C, sendo relatado que o esteviosídeo e o rebaudiosídeo aumentaram de 7,01 para 7,88 mg e de 7,44 e 8,58 mg, respectivamente. A tecnologia de secagem por infravermelho pode aumentar o número de microporos na superfície e no interior dos materiais e melhorar a qualidade dos produtos secos.

Laura et al. (2019) estudaram branqueamento da soja vegetal (Edamame) com água quente/vapor e observaram é um processo que consome muita energia e água, além comprometer a qualidade do produto. A eficácia do aquecimento infravermelho (IR) para secar e branquear simultaneamente o Edamame foi investigada em intensidades de aquecimento de 11,06, 8,43 e 6,99 kW . m⁻². Temperatura, peso, textura e intensidade verde de amostras aquecidas por várias durações foram determinados. Em geral, o peso do produto diminuiu durante o aquecimento infravermelho. A maior redução de peso (9,50%) foi alcançada após 100 s de aquecimento na maior intensidade de aquecimento IV. A dureza foi reduzida ao longo da duração do tratamento, atingindo os valores mais baixos (11172,9–10847 N) em 100 ou 120 s, apesar da intensidade de aquecimento. A maior intensidade de verde foi registrada (0,33) para tratamentos em 100 ou 120 s. O novo processo combinou secagem e branqueamento em uma única etapa, o que potencialmente melhora a eficiência do processamento e a qualidade do produto.

Boateng, Yang e Li (2021) estudaram a influência da secagem por infravermelho nas sementes frescas de *Ginkgo biloba*, ricos compostos bioativos. No entanto, o material é ligeiramente venenoso e não pode ser ingerido diretamente devido ao alto teor de Ginkgotoxina e ácido ginkgólico. Embora a secagem possa diminuir esses teores, também pode ter um efeito adverso na bioatividade e na qualidade do produto. A secagem por IV resultou em teores de ginkgotoxina e ácido ginkgólico que estão abaixo do nível provável de causar toxicidade, portanto, poderia ser útil para alimentos e produção industrial como um alimento funcional e neutracêutico.

Jafari, Movagharnejad e Sadeghi (2020) estudaram o efeito das diferentes potências de radiação infravermelha em amostras de berinjela com diferentes espessuras (3, 5 e 7 mm), velocidade do ar (0,5, 1,25 e 2 m/s) e potência infravermelha (1000, 1500 e 2000 W). O tempo de secagem foi afetado pelos parâmetros operacionais. Os processos de secagem aumentaram significativamente o teor de fenólicos totais e de potássio. A diferença total de cor (ΔE) estava no intervalo de 10,22 a 25,14. Ao final, esse processo foi otimizado para atingir a melhor condição experimental.

3.2.3 Pré-tratamento com etanol

Etanol ou álcool etílico é um composto orgânico da família dos álcoois, cuja fórmula molecular é $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Por ser uma molécula polar, é solúvel em água, e seu ponto de ebulição é atingido aos $78\text{ }^\circ\text{C}$, enquanto seu ponto de fusão é atingido a $-114\text{ }^\circ\text{C}$ (MORCELI, 2006). Esse solvente orgânico dissolve as membranas celulares e é bastante utilizado na indústria de alimentos como sanitizante (FUNEBO et al., 2002). Nos últimos anos, o uso de etanol tem sido estudado como tratamento complementar a secagem ou aditivo em alimentos, fazendo com que seu tempo de secagem reduza consideravelmente (TOSATO, 2012).

Braga e Silva (2010) analisaram a influência de etanol na cinética de secagem de abacaxi e em algumas características físicas, como escurecimento, microestrutura, armazenamento e conteúdo de vitamina C. Foram feitas comparações entre três tratamentos: fatia de abacaxi seca sob atmosfera modificada com 0,5% de etanol, fatia de abacaxi seca sem alteração no ar e superfície da fatia previamente tratada com etanol. O tempo de secagem foi maior para abacaxi com atmosfera normal e menor para a superfície tratada com etanol, indicando que o etanol interfere ativamente na taxa de secagem, provavelmente ocorrendo a sua condensação na superfície do abacaxi, que acelerou o processo, principalmente na primeira hora de secagem. As fatias cujas superfícies foram tratadas com etanol apresentaram maior encolhimento longitudinal, refletindo em maior coeficiente de encolhimento. Na verdade, essas amostras mostraram maior taxa de secagem e essa evaporação pode ser a responsável pelo maior encolhimento longitudinal. Apesar disso, as amostras tratadas com etanol apresentaram menor encolhimento radial, e menor degradação de cor após a secagem e armazenamento. Braga (2007) complementa que o álcool condensa na superfície da amostra e diminui a perda de voláteis, retendo maior parte dos aromas, ou seja, diminui a perda de álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos, ésteres, compostos sulfúricos, fenóis e furanos.

A aplicação do etanol também foi estudada por Rojas, Augusto e Cárcel (2020) como pré-tratamento na secagem convectiva de alimentos assistida por ultrassom. Os pré-tratamentos foram realizados por imersão das fatias de maçã em etanol (0-30 min). Essas amostras pré-tratadas foram secas por convecção na temperatura de $50\text{ }^\circ\text{C}$, sem e com aplicação do ultrassom ($21,77\text{ kHz}$, $20,5\text{ kW/m}^3$). Como resultado do uso do etanol e ultrassom, a redução do tempo de secagem chega a $70 \pm 2\%$. A partir da modelagem da cinética de secagem, identificou-se que os pré-tratamentos com etanol reduziram, principalmente, a resistência externa à transferência de massa, enquanto o ultrassom teve maior influência na interna. Nas amostras secas, conforme o tempo de pré-tratamento com

etanol aumentava, o encolhimento diminuía e sua capacidade de reidratação era maior. A capacidade antioxidante e o conteúdo fenólico total foram maiores em amostras que tiveram a aplicação de ultrassom. Os resultados obtidos corroboram que as tecnologias propostas são complementares, acelerando significativamente a secagem, sem efeitos negativos nas propriedades físicas.

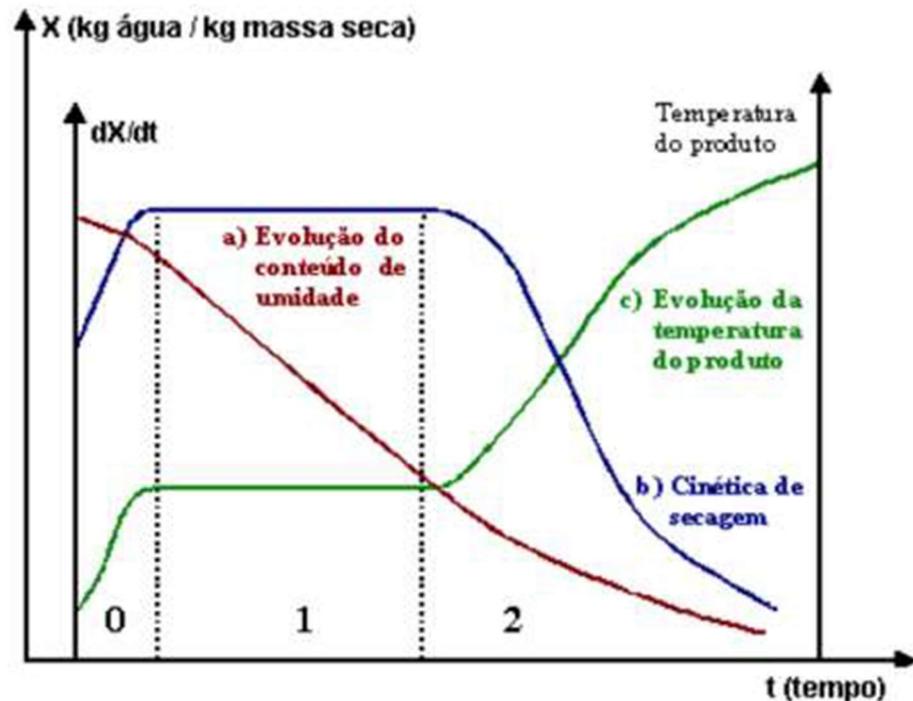
Rojas e Augusto (2018a) estudaram a influência do etanol e do ultrassom (US) aplicados como pré-tratamentos para melhorar a secagem por infravermelho (IR) em rodela de batata. Nesse estudo foram analisados os efeitos na microestrutura, secagem, reidratação e viscoelasticidade. Nas análises microestruturais sugeriram que o etanol afetou a parede celular da batata. O pré-tratamento Água + US impactou a dispersão dos grânulos de amido dentro das células. No entanto, modificações maiores foram observadas quando Etanol + US foi aplicado. Em relação ao Controle, todos os pré-tratamentos diminuíram o tempo de secagem, enquanto Etanol + US proporcionou a maior redução. Em contraste, foi observada uma ligeira diminuição nas propriedades de reidratação. As amostras secas e reidratadas apresentaram viscoelasticidade semelhante entre si, mas diferiram significativamente com as amostras in natura (batata fresca).

3.3 CINÉTICA DE SECAGEM

A cinética tem por finalidade promover o estudo do comportamento do material analisado ao longo do processo, e ainda, estimar o tempo necessário de secagem (CARVALHO, 2014). Assim, é possível 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).

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa que ocorrem entre o ar e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de processo. Assim, a secagem pode ser dividida em três períodos, conforme apresentado na Figura 3 (BROD, 2003).

Figura 3 – Curvas típicas de secagem.



Fonte: PARK et. al, 2001b.

A curva (a) representa a diminuição do conteúdo de umidade do produto (X) em relação ao tempo (t) durante o processo de secagem. A curva (b) mostra a velocidade ou taxa de secagem do produto (dX/dt), isto é, a variação da umidade do produto por tempo (t). A curva (c) representa a variação da temperatura da amostra (T) com o tempo (t) (BROD, 2003).

Em relação aos períodos descritos na Figura 3, o primeiro representa o início da secagem, onde ocorre uma elevação gradual da temperatura do alimento e da pressão de vapor de água. Quando o ponto em que a transferência de calor é equivalente à de massa é atingido, a elevação cessa. O segundo momento é caracterizado pela taxa constante de secagem. No terceiro, ocorre o decréscimo da taxa de secagem, devido à redução na transferência de massa causada pela diminuição da quantidade de água presente na superfície do produto. A temperatura aumenta até se igualar à do ar de secagem. O processo é encerrado quando o produto atinge a umidade de equilíbrio em relação ao ar (PARK et al., 2001b).

A modelagem e simulação do processo de secagem em novos secadores ou a melhoria do funcionamento e controle dos sistemas já existentes é feita através de modelos matemáticos. Os principais modelos propostos para descrever o comportamento da secagem de materiais agrícolas são os teóricos, semi-teóricos e empíricos (TORKI-HARCHEGANI et al., 2017).

3.3.1 Modelos Matemáticos

O estudo da modelagem matemática tem despertado o interesse de vários pesquisadores para uma variedade de produtos. A modelagem matemática de um sistema dinâmico pode ser definida como “um conjunto de equações que podem prever a precisão do processo” (CASTIGLIONI et al., 2013).

A estrutura de frutas e vegetais é muito variável. Com isso, a modelagem da cinética de secagem é importante para o conhecimento das propriedades físico-químicas e do tempo de secagem para se obter um produto com qualidade adequada. Um modelo comumente utilizado tem como base a segunda lei de difusão de Fick, que tem sido usada com sucesso para descrever a cinética de secagem de alguns produtos alimentícios e para o cálculo da difusividade efetiva, tal como descrito pela Equação 1, para uma geometria de placa plana.

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

Onde:

ADM = Adimensional de umidade

t = tempo (s);

D_{ef} = difusividade efetiva (m^2/s);

l = meia espessura (m).

No entanto, modelos semiteóricos, baseados em um desenvolvimento em série da segunda lei de Fick, são os mais amplamente utilizados para produtos alimentícios (AKPINAR, 2006). Alguns exemplos desses modelos são mostrados na Tabela 2.

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).

A simulação do comportamento de cada alimento durante a redução do teor de água, influenciada pelos parâmetros, ajuda o desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos e otimização da secagem (CORRÊA et al., 2010).

3.4 ANÁLISE FÍSICO – QUÍMICA DO ALIMENTO

Vários métodos analíticos têm sido rotineiramente utilizados para determinação de compostos bioativos e antioxidantes em vários produtos alimentares. Entre eles, métodos bem estabelecidos e altamente eficientes, como espectroscopia UV, cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), cromatografia gasosa (GC), cromatografia líquida (LC), espectrometria de massa (MS) e eletroforese capilar (CE) (COZZOLINO, 2015).

Esses métodos fornecem um nível preciso de informação sobre a química do composto medido, entretanto, a determinação na amostra requer diferentes etapas (por exemplo, extração, purificação, etc.), resultando na geração de resíduos, causando impactos para o ambiente, além de demandarem tempo de análise, equipamentos e reagentes específicos, além de mão de obra qualificada (COZZOLINO, 2015; ALMEIDA, 2015).

3.4.1 Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na caracterização funcional

A espectroscopia no infravermelho – IR (do inglês, Infrared) é fundamentada na emissão ou absorção de energia radiante na região do espectro eletromagnético que vai de 12.800 a 10 cm^{-1} . Essa região é dividida em três sub-regiões: infravermelho próximo - NIR (do inglês, *Near Infrared*) que compreende a faixa de 12.800 a 4.000 cm^{-1} , infravermelho médio - MIR (do inglês, *Middle Infrared*) de 4.000 a 200 cm^{-1} e infravermelho distante - FIR (do inglês, *Far Infrared*) cuja faixa é de 200 a 10 cm^{-1} . A radiação IR incidente não possui energia suficiente para promover transições eletrônicas, porém causa transições de moléculas de estados de energia vibracionais ou rotacionais para outros, fornecendo informações úteis que podem ser observadas nos espectros. É importante ressaltar que somente moléculas com variação de momento de dipolo durante seu movimento vibracional conseguem absorver radiação infravermelha. Ou seja, qualquer molécula com ligações N-H, C-H, O-H, Si-H. (SKOOG et al., 2009).

As análises químicas para quantificação de compostos de interesses, tais como fenólicos, carotenoides, entre outras, são normalmente demoradas e consomem reagentes específicos e geram resíduos. Nesse contexto, algumas técnicas espectrométricas como o

infravermelho médio (MIR) e próximo (NIR) e a espectroscopia Raman estão sendo investigadas para a caracterização de alimentos, com os mais diversos objetivos (ABBAS; DARDENNE; BAETEN, 2012).

Como alternativa, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tem sido utilizada nas indústrias por apresentar características interessantes, como resposta mais rápida, não destrutiva, adequada para uso na linha de produção e de menor custo quando comparada às técnicas convencionais (PASQUINI, 2018). Com o avanço da tecnologia e com a miniaturização da tecnologia óptica, o NIRS portátil tem recebido cada vez mais atenção por causa de seu preço mais baixo e maior conveniência do que os equivalentes de bancada, pelo menos para algumas aplicações (YU; LIU; ERASMUS; ZHAO; WANG; VAN RUTH, 2020). A informação espectral é devido a sobretons e combinações vibracionais, e podem ser realizadas por transmitância, reflectância e transreflectância. Entretanto, apresentam bandas largas e portanto, informações sobrepostas, que a partir do uso de ferramentas matemáticas pode-se extrair informações útil.

3.5 QUIMIOMETRIA

O crescente desenvolvimento de tecnologias analíticas computadorizadas, como os métodos espectroscópicos, permitiu que dados de natureza química fossem gerados com mais rapidez, com grande quantidade de variáveis e, conseqüente, maior quantidade de informação atrelada à amostra. Para a extração de maior quantidade de informação desses dados analíticos multivariados surgiu a quimiometria, a qual utiliza métodos estatísticos e matemáticos para esse fim (FERREIRA, 1999).

Devido ao fato da composição química de uma amostra não ser uma propriedade facilmente encontrada, sua identificação pode ser feita por processos físico químicos, entre os quais podem-se citar: absorção de luz, condutividade, determinação de massas, etc. Para esses casos, se faz necessário uma calibração, que nada mais é que uma função que relaciona as medidas efetivamente realizadas com a concentração ou a propriedade de interesse (PIMENTEL; NETO, 1996; NETO; PIMENTEL; ARAÚJO, 2002). A quimiometria contempla métodos que se aplicam ao planejamento e otimização de experimentos, classificação e calibração multivariada. Para fins qualitativos ou quantitativos é necessário avaliar previamente os dados para proceder a análise. Isto inclui minimizar ou eliminar informação irrelevante a partir dos algoritmos de pré-processamento, bem como efetuar análise exploratória dos dados.

3.5.1 Pré-processamento dos dados espectrais

Os efeitos físicos, tais como ruído, espalhamento da radiação, desvios de linha de base, precisam ser minimizados ou eliminados através de manipulações matemáticas – algoritmos – que permitem eliminar informação irrelevante. Por definição, pré-processamento é uma manipulação matemática realizada nos dados antes do desenvolvimento de qualquer modelagem. No geral, eles são empregados para remover ou reduzir fontes de informações irrelevantes à modelagem e podem ser aplicados às amostras e às variáveis (SILVA,2015).

Sendo um dos pré-processamentos mais utilizados aplicado às variáveis, centrar os dados na média apoia-se em fazer com que para cada variável seus valores tenham média zero. Para isso essa técnica calcula para cada uma das colunas da matriz com os dados espectrais o valor médio e subtrai cada intensidade do valor médio calculado. O resultado é uma mudança do sistema de coordenadas para o centro dos dados (NETTO, 2020; BARTHUS, 1999; DU et al., 2005).

No procedimento Padronização Normal de Sinal (SNV - do inglês *Standard Normal Variate*), aplicado às amostras, cada espectro é corrigido individualmente sendo os valores centrados na média da amostra e posteriormente escalados pelo desvio padrão calculado dos valores espectrais individuais e usado para remover a variação da inclinação e corrigir os efeitos do espalhamento da radiação por partículas sólidas (SAMISTRARO, 2008).

No procedimento de Suavização, que permite reduzir variações aleatórias conhecidas como ruído espectral, em geral, utiliza-se uma janela de pontos para obter, por exemplo, a média desses pontos e substituir o ponto central da janela por este valor médio. (SAMISTRARO, 2008).

3.5.2 Análise Exploratória dos dados Espectrais – PCA

A análise por componentes principais é utilizada como análise exploratória de dados, sendo, portanto, um método de reconhecimento de padrões não supervisionado. A técnica baseia-se na variância dos dados para construir um novo espaço de variáveis, chamadas de componentes principais (PC), que são ortogonais entre si e que seguem a direção de variabilidade máxima (ALMEIDA, 2015).

A PCA tem como objetivo a redução da dimensionalidade dos dados através da combinação linear das variáveis originais com informações semelhantes (SOUZA; MADARI;

GUIMARÃES, 2012), extraindo destes as informações mais significativas e de maior influência para a compreensão de um determinado conjunto de amostras. Desta forma, pode-se agrupar as amostras que possuem alguma característica similar (ZIMMERMANN; GUIMARÃES; PERALTA-ZAMORA, 2008).

De maneira simplificada, a matriz de dados experimentais, denominada como matriz X , é decomposta em um produto de duas outras matrizes, uma matriz denominada de escores (T) e outra matriz denominada de loadings ou pesos (P), conforme equação (2) em que, E corresponde a uma matriz de erros (OTTO, 1999).

$$X = T P^T + E \quad (2)$$

Essa decomposição resulta em um novo sistema de coordenadas, onde as novas variáveis ou os novos eixos, calculados no espaço multidimensional dos dados experimentais, denominadas componentes principais (PC), são traçados de modo a explicar sucessivamente a maior percentagem de variância em uma dada direção e são ortogonais entre si. Esse procedimento reduz a dimensionalidade dos dados experimentais por agrupar as informações correlacionadas em uma mesma PC (MASSART et al., 1988). A matriz de escores (T) carrega informações acerca das amostras, sendo então as novas coordenadas dessas amostras, enquanto que os pesos (P), que são os cossenos dos ângulos entre as variáveis originais e os eixos das PCs, fornecem informações sobre as variáveis, ou seja, indicam a influência de cada variável original em relação a PC (VALDERRAMA et al, 2016 ; MASSART et al., 1988).

3.5.3 Calibração Multivariada

Dentre os tipos de calibração é possível citar as calibrações univariada e calibração multivariada. A calibração univariada é mais comumente empregada e consiste na obtenção de um modelo baseado somente em uma variável medida. Por outro lado, a calibração multivariada é utilizada quando não existe uma única variável seletiva, tornando possíveis previsões na presença de sinais analíticos sobrepostos e de interferentes (OLIVEIRA, 2014)

O processo geral de calibração consiste basicamente em três etapas: calibração, validação e previsão. Na etapa de calibração, ocorre a construção do modelo matemático, o qual é obtido relacionando-se a matriz de dados das variáveis medidas (matriz X), com a matriz de dados das propriedades de interesse determinados por um método de referência (vetor Y). Na etapa de validação, os modelos desenvolvidos serão avaliados através de

ferramentas de diagnósticos. Por último, os modelos construídos e validados são utilizados para prever valores de concentração ou outras propriedades desconhecidas nas amostras (VALDERRAMA, 2009; OLIVEIRA, 2013; SIMÕES, 2008).

Uma variedade de métodos de regressão vem sendo utilizada em química analítica para a construção de modelos de calibração multivariada, dentre eles a literatura destaca: o método clássico de mínimos quadrados (CLS, do inglês *Classical Least-Square*), a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS, do inglês *Partial Least Square*), a regressão linear múltipla (MLR, *Multiple Linear Regression*) e a regressão por componentes principais (PCR, *Principal Component Regression*) (SIMÕES, 2008).

A Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) é considerada a técnica de regressão mais utilizada para a construção de modelos de calibração multivariada a partir de dados de primeira ordem. Esse método de calibração não requer um conhecimento exato de todos os componentes presentes nas amostras podendo realizar a previsão das amostras mesmo na presença de interferentes, desde que esses também estejam presentes na ocasião da construção do modelo (BEEBE, 1998).

O método de calibração PLS funciona por meio de uma série de operações matemáticas em que a matriz formada pelas variáveis medidas (Matriz \mathbf{X}) é transformada em variáveis latentes para que haja uma diminuição da dimensionalidade do conjunto de dados. Na regressão PLS as matrizes \mathbf{X} e \mathbf{Y} são decompostas de acordo com as equações 3 e 4:

$$\mathbf{X} = \mathbf{TP}^T + \mathbf{E}_x \quad (3)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{UQ}^T + \mathbf{F}_y \quad (4)$$

Onde, \mathbf{P} e \mathbf{Q} são os pesos de \mathbf{X} e \mathbf{Y} , respectivamente; \mathbf{T} e \mathbf{U} são os escores de \mathbf{X} e \mathbf{Y} , respectivamente e \mathbf{E}_x e \mathbf{F}_y representam as matrizes de resíduos de \mathbf{X} e \mathbf{Y} , respectivamente. Matematicamente, os valores dos escores nas matrizes \mathbf{T} e \mathbf{U} são modificados até que o melhor modelo linear seja estabelecido entre eles, ou seja, a maior covariância entre \mathbf{X} e \mathbf{Y} seja alcançada. Para tanto, através de um processo iterativo, uma série de etapas são repetidas para cada componente estimada (variável latente), o que leva a um compromisso entre a explicação da variância em \mathbf{X} e a obtenção da maior correlação com \mathbf{Y} (BEEBE et al, 1998).

A complexidade do modelo, ou seja, o número de parâmetros no modelo de regressão é obtido a partir da validação com um conjunto de teste ou um conjunto independente, chamado de validação externa. A maneira mais comum de se definir o número de fatores de um modelo é através da validação cruzada (*cross validation*). Neste procedimento, cada

amostra ou um conjunto de amostras é removido, o modelo é construído com as demais amostras e é realizada a predição da amostra ou conjunto de amostras que foi deixado de fora. Este procedimento é repetido para todas as amostras, e um erro médio é calculado (RMSECV, Equação 6) para cada número de variáveis latentes. O número adequado de variáveis latentes (ou parâmetros do modelo) será aquele em que o valor de RMSECV não apresente variação considerável.

3.5.3.1 Eficiência dos modelos

Os modelos de calibração podem ser avaliados por parâmetros estatísticos, tais como o RMSEC (root mean squared error of calibration) ou apenas SEC, é o RMSE (Equação 5) calculado a partir das amostras de calibração, isto é, uma medida de erro na modelagem. O RMSECV (*root mean squared error of cross validation*), obtido durante a etapa de validação (Equação 6), e o RMSEP (*root mean squared error of prediction*) (Equação 7) (NIEMEYER et al., 1992; BURNS; CIURCZAK, 2001).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{prev} - y_{real})^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum (y_{prev} - y_{real})^2}{(n-k-1)}} \quad (6)$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum (y_{prev} - y_{real})^2}{n}} \quad (7)$$

Sendo:

n o número de amostras;

k o número de fatores utilizados.

É importante, também, levar em consideração parâmetros estatísticos como os erros sistemáticos (bias) na avaliação da qualidade dos modelos de calibração. Os erros sistemáticos presentes afetam a exatidão das medidas e podem ser quantificados pela Equação 8.

$$Bias = \sum \frac{(y_{prev} - y_{real})}{m} \quad (8)$$

Onde m é a quantidade de objetos de calibração. É esperado que o somatório do numerador da Equação 8 seja o mais próximo de zero possível para que não seja considerada a existência de erros sistemáticos (NETTO, 2020).

Outros critérios considerados para avaliar a habilidade de previsão de um modelo é o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio médio padrão, obtida pela relação entre o desvio dos dados obtidos por análise convencional (Sdev) pelo erro padrão da validação cruzada (SECV), é outro critério bastante usado (WILLIANS;SOBERING, 1993).

3.5.4 Espectroscopia NIR e calibração PLS aplicados a determinação de parâmetros de qualidade em alimentos

A espectroscopia NIR se tornou uma das técnicas flexíveis mais amplamente utilizadas para medições em campo e análise online na indústria devido à sua resposta rápida, precisão, aplicabilidade a vários produtos e analitos (ENTRENAS et al., 2020).

Maniwaru et al. (2019) avaliou a qualidade do maracujá com a utilização da espectroscopia NIR como uma forma não destrutiva da amostra. Os sólidos solúveis totais (TSS), acidez titulável (TA) e teor de polpa (PC) da fruta foram previstos. Os modelos de predição foram construídos por regressão de mínimos quadrados parciais (PLS) nos espectros NIR obtido no modo de interactividade. Maniwaru et al. (2019) obtiveram resultados precisos de predição e mostraram altas correlações (R) entre os valores preditos e de referência (0,84, 0,91 e 0,99 para TSS, TA e PC, respectivamente). O autor concluiu que a espectroscopia NIR não destrutiva pode ser um preditor potencial para determinar a qualidade do maracujá roxo.

Cruz-Tirado et al. (2021) investigou o desempenho de um dos menores e de mais baixo custo espectrômetro NIR para estimativa on-line do frescor dos ovos. Nesse estudo os dados espectrais obtidos foram processados usando diferentes combinações de pré-tratamento, e métodos de aprendizado de máquina foram ensaiados para prever o valor da unidade Haugh (HU) (PLS-R e SVM-R) e para classificar ovos frescos e velhos (PLS-DA e SVM-C). A regressão PLS-R e SVM-R mostraram desempenhos semelhantes, mas o modelo SVM-R na região espectral de 1300–1690 nm mostrou os melhores resultados com um erro relativo de 7,32% e RPD de 2,56. O PLS-DA apresentou melhores resultados do que o SVM-C para a classificação de ovos frescos e rançosos, com precisão de 87,0%, com maior sensibilidade para identificação de ovos rançosos. Os resultados mostraram que um pequeno espectrômetro NIR portátil é um dispositivo econômico e confiável para prever o frescor dos ovos de galinha com precisão de previsão comparável a dispositivos de bancada. Isso poderia ajudar as

agências de controle de alimentos a implementar sensores NIR portáteis em diferentes estágios da cadeia de abastecimento de ovos.

Oliveira et al. (2020) avaliou a autenticidade do pó de páprica uma especiaria amplamente consumida, o que a torna um alvo atraente para adulteração, que não é facilmente detectada. Neste estudo, Oliveira et al. (2020) utilizou um espectrômetro portátil de infravermelho próximo (NIR) para a detecção rápida da páprica. Nove amostras de páprica de cinco fornecedores foram adulteradas com amido de batata, goma de acácia e urucum em diferentes concentrações (0-36% em peso de amido de batata e goma de acácia e 0-18% em peso de urucum). O espectro NIR de cada mistura ($n = 315$) foi usado como preditores para determinar a adulteração por análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) e regressão de mínimos quadrados parciais (PLSR). Os autores concluíram que a espectroscopia NIR é uma técnica de triagem útil para identificação e quantificação de adulteração em páprica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nas instalações do Laboratório de Engenharia de Alimentos e Ambiental do Departamento de Engenharia Química – Centro de Tecnologia e Geociência (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

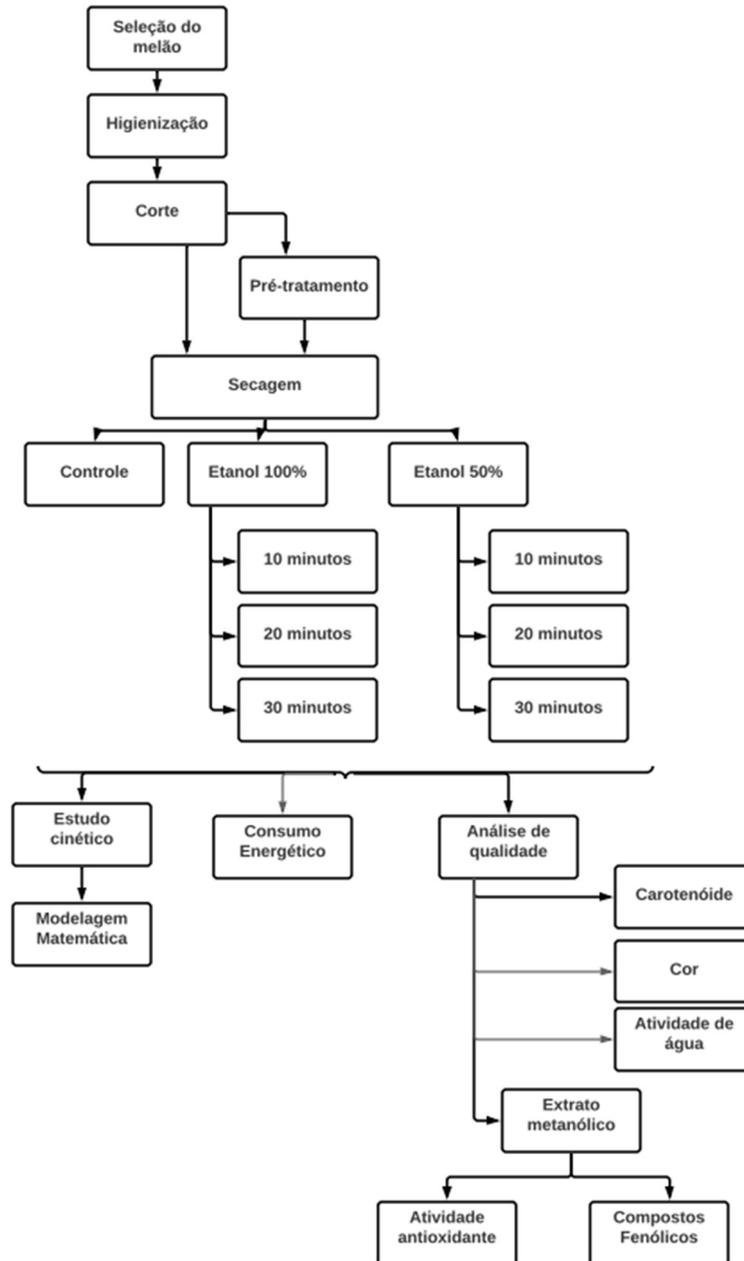
4.1 MATÉRIA-PRIMA

Os melões maduros da variedade Cantaloupe (*Cucumis Melo*), popularmente conhecido como “melão japonês”, foram adquiridos no mercado local, em Recife-PE. Para o critério de padronização dos melões, foram adotados a firmeza da polpa e o teor de sólidos solúveis entre 10 e 12 °Brix.

4.2 METODOLOGIA

Inicialmente, os melões foram lavados em água corrente e submersas durante 15 min em solução de cloro ativo com concentração de 150 mg.L^{-1} . Posteriormente, foi feito o enxágue em água. Os cortes foram feitos de forma a ter o maior aproveitamento da polpa da fruta. Assim, com auxílio de uma faca inoxidável, obteve-se fatias com dimensões de 3,0 cm x 3,0 cm, com espessura de 0,5 cm, as quais foram submetidas ao processamento. A metodologia executada neste trabalho está descrita no fluxograma abaixo (Figura 4).

Figura 4- Fluxograma experimental.



Fonte: Autora (2021)

4.3 PRÉ-TRATAMENTO DA AMOSTRA

Para esta etapa, 20 amostras de melão foram colocadas em béqueres de 500 mL contendo uma solução de etanol (99,5%), em concentrações de 100% (EtOH_100%) ou 50% (EtOH_50%), por diferentes tempos de imersão (10, 20 e 30 min). Os testes foram realizados a 30 °C e foi utilizada a proporção de 1:4 (massa da amostra: volume da solução). Os experimentos foram realizados de acordo com Rojas et al. (2018a) e Cunha et al. (2019).

4.4 SECAGEM

A secagem por infravermelho ocorreu com a utilização de um equipamento constituído por um tambor de ferro (Figura 5), o qual foi aquecido internamente com 3 lâmpadas infravermelho de 250 W cada (Figura 6), na temperatura de 60 °C, previamente ajustada por um termostato.

Figura 5- Tambor de ferro



Fonte : Autor (2020)

Figura 6- Lâmpadas de infravermelho



Fonte : Autor (2020)

As amostras foram pesadas em intervalos de tempo de 15 min, com a utilização de uma balança semi-analítica, até que o equilíbrio dinâmico, da amostra com o meio, fosse atingido. O estudo cinético foi feito com a utilização dos dados adimensional de umidade em função do tempo de secagem. O modelo difusional e os seis modelos de camada fina, os quais foram descritos no item 3.3.1, foram utilizados para cálculo da difusividade efetiva e ajuste aos dados experimentais obtidos, respectivamente. Para a verificação dos ajustes foi calculado o erro médio relativo (P), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (Equação 9), sendo considerado preditivo o modelo que apresentasse valores de P menores que 10% (LOMAURO et al., 1985).

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|M_p - M_e|}{M_p} \quad (9)$$

Onde:

M_p : valores preditos pelo modelo;

M_e : valores obtidos experimentalmente;

N : número de pontos experimentais.

4.5 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE

A Legislação Brasileira, para categoria de fruta seca, considera o valor máximo de umidade de 25% (BRASIL, 2005). Assim, as análises do melão foram realizadas em amostras com teor de umidade de 20%, portanto abaixo do máximo estipulado para essa categoria de produto.

Determinou-se, para as amostras *in natura* e processadas: umidade, atividade de água, teor de ácido ascórbico, fenólicos totais, teor de carotenoides, cor e atividade antioxidante.

4.5.1 Umidade

A umidade da amostra foi realizada através do método gravimétrico, utilizando estufa em temperatura de 105 °C por um período de 24 h (AOAC, 2002).

4.5.2 Atividade de água

Para a determinação da atividade de água, foi utilizado de um analisador portátil (Decagon, modelo Pawkit), sendo as leituras das amostras em triplicatas, na temperatura de 25 °C.

4.5.3 Sólidos solúveis (°Brix)

O teor de sólidos solúveis nas amostras de melão foi determinado em triplicata, com uma pequena quantidade da polpa do melão macerada e depois colocada em um refratômetro portátil (Sinotester, modelo LH-T90). As leituras foram feitas a uma temperatura de 20 °C e expressas em °Brix (AOAC, 2002).

4.5.4 Cor

Para análises de cor, foi utilizado um calorímetro portátil (Konica Minolta, modelo CM-600D), previamente calibrado. Os resultados foram avaliados com base nas coordenadas CIELAB, onde os parâmetros L^* , a^* e b^* foram medidos, permitindo o cálculo da diferença média de cor (ΔE) (Equação 10). As avaliações foram feitas em quintuplicata.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad (10)$$

Onde:

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

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

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

4.5.5 Teor de ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico (vitamina C) foi determinado de acordo com a AOAC (2002). Essa metodologia consiste na utilização de 5 g da polpa do melão, fresco ou já desidratado, maçeradas em 100 mL de ácido oxálico na concentração de 0,5% v/v. Em seguida, essa solução foi filtrada e uma alíquota de 5 mL foi titulada com um indicador 2-6-diclorofenol-indofenol (DFI) até que o ponto de equivalência fosse atingido. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g da massa seca.

4.5.6 Compostos fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Singleton et al. (1999). Para a análise, uma alíquota de 0,5 mL de extrato metanólico das amostras foi adicionada em tubos de ensaio e, em seguida, foram adicionados 2 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 5 min, foram adicionados 2,5 mL de carbonato de sódio 4% e a mistura foi colocada em tubos de ensaios e mantidas protegidas da luz por 2 h para posterior análise no espectrofotômetro (Spectroquant®, modelo Pharo 300). As leituras de absorbância foram feitas no comprimento de onda de 760 nm. Os resultados foram expressos em µg de equivalente ao ácido gálico por g de massa seca (mg EAG.g⁻¹ MS).

4.5.7 Carotenóides totais

O teor de carotenóides totais foi determinado de acordo com a metodologia de Rodriguez-Amaya (1999). Para a extração, 5 g da amostra foram maceradas, sendo

adicionados 30 mL de acetona. Na sequência, foram levados para mesa agitadora e, após 1 h, seguiu-se com uma filtração à vacuo. Depois de filtrado, a solução foi transferida para um funil de separação para a adição de 45 mL de éter de petróleo e lavada com água destilada.

Ao final desse processo, as leituras das absorvâncias do β -caroteno foram realizadas com a utilização do espectrofotômetro (Spectroquant®, modelo Pharo 300), no comprimento de onda de 450 nm. O resultado dessa quantificação foi expresso em μg por 100 g de massa seca.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para os resultados dispostos nesse trabalho, foram utilizados, na forma de estatística descritiva, média \pm desvio padrão. Também foi realizado uma análise de variância (ANOVA) e o teste de *Tukey* utilizando o *software Statistic*® 10.0, adotando um nível de segurança e significância de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

4.7 AQUISIÇÃO DOS ESPECTROS NIR

As medidas espectrais foram realizadas no modo de refletância difusa utilizando o MicroNir™ Spectrometer 1700 da marca JDSU (equipamento ultracompacto e de baixa resolução), na faixa de 908 a 1676 nm, com uma resolução de 12,5 nm e 60 varreduras.

Os espectros foram obtidos para as amostras submetidas aos diferentes pré tratamentos, que utilizou solução de etanol a 50% e 100% com diferentes tempos de imersão, os melões previamente cortados, *in natura* e seco, onde se utilizou 25 frutos, totalizaram 560 espectros.

4.7.1 Análise multivariada – Modelo PLS para os parâmetros de qualidade

Inicialmente foi realizada uma análise exploratória dos dados utilizando Análise Por Componentes Principais (PCA) para avaliar tendências, bem como a eficiência dos pré-processamentos de dados. Em seguida, o conjunto de amostras foi dividido em amostras de calibração e validação utilizando algoritmo matemático (Kennard-Stone) para proceder a calibração dos parâmetros de qualidade utilizando a técnica PLS. A qualidade dos modelos de calibração foi avaliada a partir dos parâmetros RMSEC, RMSEP, Bias e R^2 .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados e discussão dos ensaios realizados. Estão distribuídos em tópicos de secagem e avaliação de qualidade.

5.1 SECAGEM

A discussão das análises e resultados da secagem começam pelo estudo da cinética, utilização de modelos de camada fina e obtenção da difusividade efetiva, os quais estão dispostos a seguir.

5.1.1 Cinética de secagem

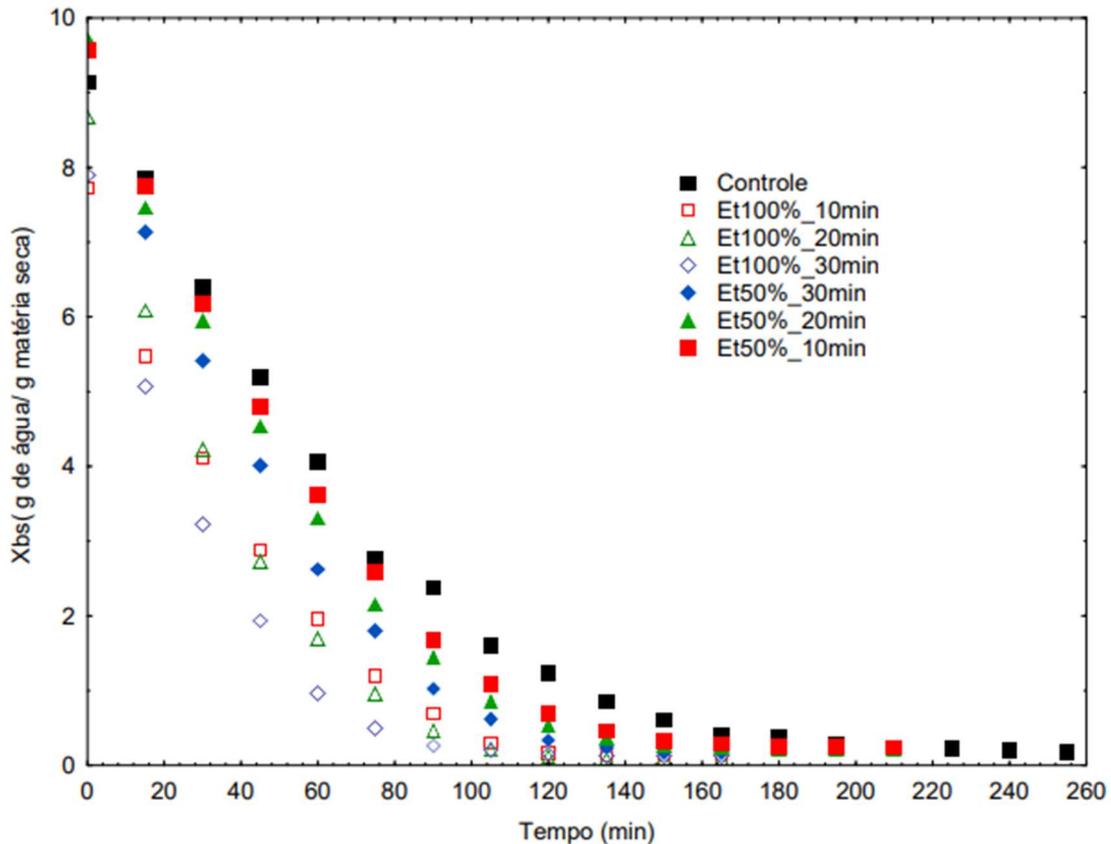
Os melões utilizados nos experimentos apresentaram um teor de umidade inicial de $90,13 \pm 0,07$ % (em base úmida, X_{bu}) ou $9,13 \pm 0,07$ kg de água/kg de massa seca (em base seca, X_{bs}). Resultado semelhante ($9,61$ kg de água/kg de massa seca) foi obtido por Cunha et al. (2020) para o melão Cantaloupe. Na Tabela 3 pode-se observar os valores de umidade na base seca (X_{bs}) pós o pré-tratamento com etanol nas concentrações de 100% e 50%.

Tabela 3 - Teor de umidade na base seca (X_{bs}) do melão Cantaloupe após o pré-tratamento com Etanol.

Tipo de ensaio	X_{bs} (kg de água/kg de massa seca)
Controle	$9,13 \pm 0,07$
EtOH 100%_10min	$7,72 \pm 0,51$
EtOH 100%_20min	$8,68 \pm 0,06$
EtOH 100%_30min	$7,89 \pm 0,72$
EtOH 50%_10min	$9,57 \pm 0,86$
EtOH 50%_20min	$9,72 \pm 0,51$
EtOH 50%_30min	$9,62 \pm 0,73$

O estudo da cinética e modelagem de secagem é de grande importância para projetos, simulação e otimização do processo (SILVA, 2018). Na Figura 7, estão apresentadas as curvas da cinética de secagem do melão para os 7 ensaios realizados mais o controle (secagem convectiva, sem pré-tratamento), totalizando 8 condições.

Figura 7- Umidade do melão na base seca (X_{bs}) em função do tempo na secagem do melão nos métodos descritos na legenda



Observando as curvas de secagem (Figura 7), a amostra controle foi a que mais demorou a atingir peso constante (equilíbrio). Villamiel et al. (2017) afirmam que, na secagem convencional, o tecido vegetal continua a apresentar células túrgidas com paredes celular definidas e organizadas dificultando, assim, a difusividade da água.

Com o pré-tratamento com etanol, os tempos necessários para que as amostras atingissem o equilíbrio dinâmico foram menores, sendo a redução entre 19% e 48% (Tabela 4). Comportamento semelhante também foi observado por Cunha et al. (2020), onde as amostras, as quais tiveram um pré-tratamento com etanol nas concentrações de 100% e de 50%, reduziram o tempo da cinética de secagem para atingir o equilíbrio. Rojas et al. (2020) também observaram essa redução do tempo de de secagem convectiva da maçã pré-tratada com etanol 100% por 10 min, 20 min, 30 min. Os autores relataram uma redução de 34%, 47%, 53% para a fruta pré-tratada por 10 min, 20min e 30min, respectivamente. Da mesma forma, Guedes et al. (2021) também obtiveram um comportamento semelhante, com redução de aproximadamente 56% no tempo de secagem das amostras de batata com a utilização do etanol na desidratação osmótica.

Tabela 4 - Porcentagem da redução do tempo, em comparação com a amostra controle, para que as amostras atingissem o equilíbrio na cinética de secagem.

Ensaio	Tempo para atingir o equilíbrio (min)	Redução do tempo em relação ao controle (%)
Controle	260	-
EtOH 100%_10min	150	42%
EtOH 100%_20min	165	37%
EtOH 100%_30min	135	48%
EtOH 50%_10min	210	19%
EtOH 50%_20min	195	25%
EtOH 50%_30min	150	42%

Pelos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se, ainda que, quanto maior a concentração de etanol, maior a redução no tempo para se atingir o equilíbrio dinâmico da secagem. Tal fato também foi observado por Freitas et al. (2021), que realizou experimentos para estudar a influência da concentração do etanol na secagem do abacaxi. Freitas et al. (2021) concluiu que, em relação à amostra controle, que atingiu o equilíbrio em 240 min, o etanol 100% foi capaz de reduzir esse tempo em 50%, ou seja, 120 min. Já o etanol 50%, o tempo de secagem foi de 150 min, o que representa uma redução de 37,5% em relação ao tempo de secagem das amostras controle. Essa pesquisa corrobora com os resultados obtidos na Tabela 4.

Estudo realizado por Rojas e Augusto (2018b) teve como objetivo explicar o efeito do tratamento com etanol na microestrutura de cilindros de abóbora sendo a cinética de secagem convectiva (modelo de Page), a cinética de reidratação (modelo de Peleg) e propriedades viscoelásticas (modelo generalizado de Maxwell) avaliadas. O tratamento com etanol acelerou os processos de secagem e reidratação. Algumas hipóteses foram levantadas para tentar explicar como o etanol influencia na redução do tempo de secagem. Tatemoto et al. (2015) propuseram que o etanol vaporiza precocemente de dentro para a superfície, formando canais de fluxo e poros na amostra, que promoveram o processo de secagem durante o período de queda da taxa de secagem. Entretanto, tal fato foi refutado por Rojas e Augusto (2018b) na secagem da abóbora, onde não foram observadas as formações de canais quando o etanol foi utilizado no pré-tratamento das amostras. Outro fato, proposto por Funebo et al. (2002) e comprovado por Rojas e Augusto (2018b), é que pelo fato do etanol ser um solvente orgânico que dissolve os compostos da parede celular, aumenta a permeabilidade através das paredes, tanto para a desidratação quanto para a reidratação de alimentos tratados com esse solvente, diminuindo o tempo de secagem, corroborando com os dados apresentados na Tabela 4.

Uma possível explicação para que o efeito do álcool diminua diretamente o tempo de secagem foi explicado por Silva et al. (2012) na secagem de abacaxi. Rojas e Augusto (2018b) também se basearam nesse efeito e afirmaram que, durante a secagem, o etanol que permaneceu superficialmente na amostra é vaporizado rapidamente. Conseqüentemente, um gradiente de tensão superficial é gerado dentro das amostras. Portanto, como o etanol vaporiza mais rápido, mais água do que o etanol permanece na superfície da amostra. Esta região com maior concentração de água do que etanol apresenta maior tensão superficial, puxando fortemente a água de dentro do cilindro. O processo é repetido, promovendo o fluxo do interior da amostra quantas vezes forem necessárias para atingir o equilíbrio da tensão superficial. Outros pesquisadores como Silva et al. (2018), Cunha et al. (2019) e Guedes et al. (2021) também utilizaram do efeito Marangoni para explicar o aumento da transferência de massa durante a cinética de secagem. Com isso, no presente estudo, a desidratação osmótica e o efeito Marangoni podem explicar o efeito considerável na redução de tempo nas amostras que foram submetidas ao pré-tratamento com etanol antes da secagem.

5.1.2 Modelos de camada fina

Com o objetivo de descrever um melhor comportamento da secagem, os modelos empíricos são utilizados de acordo com as condições do processo, podendo estimar condições ótimas para que resultem no conteúdo de umidade final desejado e nas melhores condições de processamento.

Seis modelos empíricos de camada fina foram utilizados no ajuste dos dados experimentais obtidos nas cinéticas de secagem. Os parâmetros dos modelos, valores de coeficiente de determinação (R^2) e erro médio relativo (P) são apresentados na Tabela 5. Observa-se que, o melhor ajuste foi obtido com o modelo de Page (Figura 8, 9, e 10), apresentando maiores valores de R^2 , e exibindo valores de P (%) menores que 10%.

Tabela 5 - Parâmetros dos modelos ajustados aos dados de secagem do melão Cantaloupe.

Modelos Matemáticos		Parâmetros			R ²	P (%)	
Handerson e Pabis	Métodos	<i>a</i>	<i>k</i>				
	Controle	1,0546	0,0160		0,9923	7,7558	
	EtOH 100%_10 min	1,0217	0,0248		0,9953	18,586	
	EtOH 100%_20 min	1,0261	0,0028		0,9964	20,2718	
	EtOH 100%_30 min	1,0185	0,0334		0,9974	24,9878	
	EtOH 50%_10 min	1,0469	0,0191		0,9915	13,2331	
	EtOH 50%_20 min	1,0359	0,0209		0,9924	15,4347	
	EtOH 50%_30 min	1,0271	0,0230		0,9946	11,3487	
Logaritmo		<i>a</i>	<i>k</i>	<i>c</i>			
	Controle	0,0792	0,0103	-0,2599	0,9980	4,2535	
	EtOH 100%_10 min	1,0924	0,0198	-0,0930	0,9992	12,5472	
	EtOH 100%_20 min	1,0738	0,0236	-0,0639	0,9992	63,5350	
	EtOH 100%_30 min	1,0452	0,0307	-0,0359	0,9989	23,3686	
	EtOH 50%_10 min	1,2408	0,0124	-0,2305	0,9992	108,4426	
	EtOH 50%_20 min	1,1776	0,0146	-0,1740	0,9990	17,1297	
	EtOH 50%_30 min	1,1474	0,0169	-0,1470	0,9995	20,2570	
Exponencial de Dois Termos		<i>a</i>	<i>k</i>	<i>c</i>	<i>w</i>		
	Controle	0,5258	0,0161	0,5258	0,0158	0,9923	7,8254
	EtOH 100%_10 min	0,5108	0,0248	0,5108	0,0245	0,9953	18,5870
	EtOH 100%_20 min	0,5124	0,0278	0,5125	0,0280	0,9963	20,2917
	EtOH 100%_30 min	0,5091	0,0339	0,5094	0,0339	0,9974	24,9879
	EtOH 50%_10 min	0,5237	0,0191	0,5232	0,0191	0,9914	13,2331
	EtOH 50%_20 min	0,5179	0,0209	0,5179	0,0209	0,9923	15,4362
	EtOH 50%_30 min	0,5135	0,0230	0,5135	0,0230	0,9946	3,8487
Wang e Singh		<i>a</i>	<i>b</i>				
	Controle	-0,0116	0,000035		0,9987	2,4994	
	EtOH 100%_10 min	-0,0170	0,000073		0,9974	23,0027	
	EtOH 100%_20 min	-0,0186	0,000085		0,9963	50,3916	
	EtOH 100%_30 min	-0,0230	0,000132		0,9967	72,4001	
	EtOH 50%_10 min	-0,0135	0,000046		0,9999	1,1452	
	EtOH 50%_20 min	-0,0147	0,000055		0,9994	4,1136	
	EtOH 50%_30 min	-0,0165	0,000077		0,9990	5,3577	
Page		<i>k</i>	<i>n</i>				
	Controle	0,0043	1,2995		0,9992	2,2330	
	EtOH 100%_10 min	0,0076	1,1600		0,9975	6,1854	
	EtOH 100%_20 min	0,0128	1,1977		0,9987	8,3727	
	EtOH 100%_30 min	0,0179	1,1703		0,9992	8,6358	
	EtOH 50%_10 min	0,0054	1,2969		0,9984	7,3943	
	EtOH 50%_20 min	0,0072	1,2527		0,9976	9,8338	
	EtOH 50%_30 min	0,0101	1,2014		0,9997	7,7432	

Continuação da Tabela 5 - Parâmetros dos modelos ajustados aos dados de secagem do melão Cantaloupe

Modelos Matemáticos	Métodos	Parâmetros	R^2	P (%)
		k		
	Controle	0,0152	0,9897	8,8771
Exponencial simples	EtOH 100%_10 min	0,0243	0,9950	18,855
	EtOH 100%_20 min	0,0273	0,9960	20,7060
	EtOH 100%_30 min	0,0334	0,9972	25,2392
	EtOH 50%_10 min	0,0183	0,9899	13,9232
	EtOH 50%_20 min	0,0202	0,9915	15,9927
	EtOH 50%_30 min	0,0253	0,9941	11,7140

Figura 8 - Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental do melão utilizando o modelo de Page.

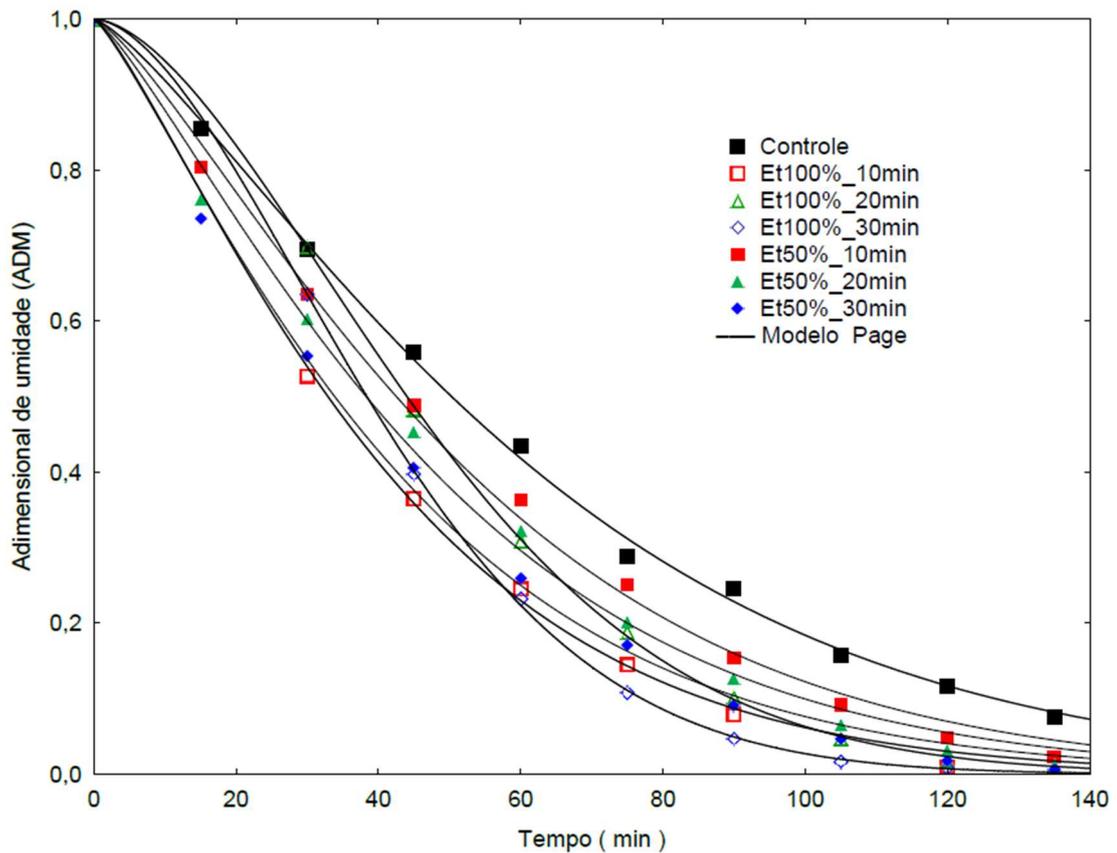


Figura 9 - Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental do melão com pré-tratamento de EtOH 100% utilizando o modelo de Page.

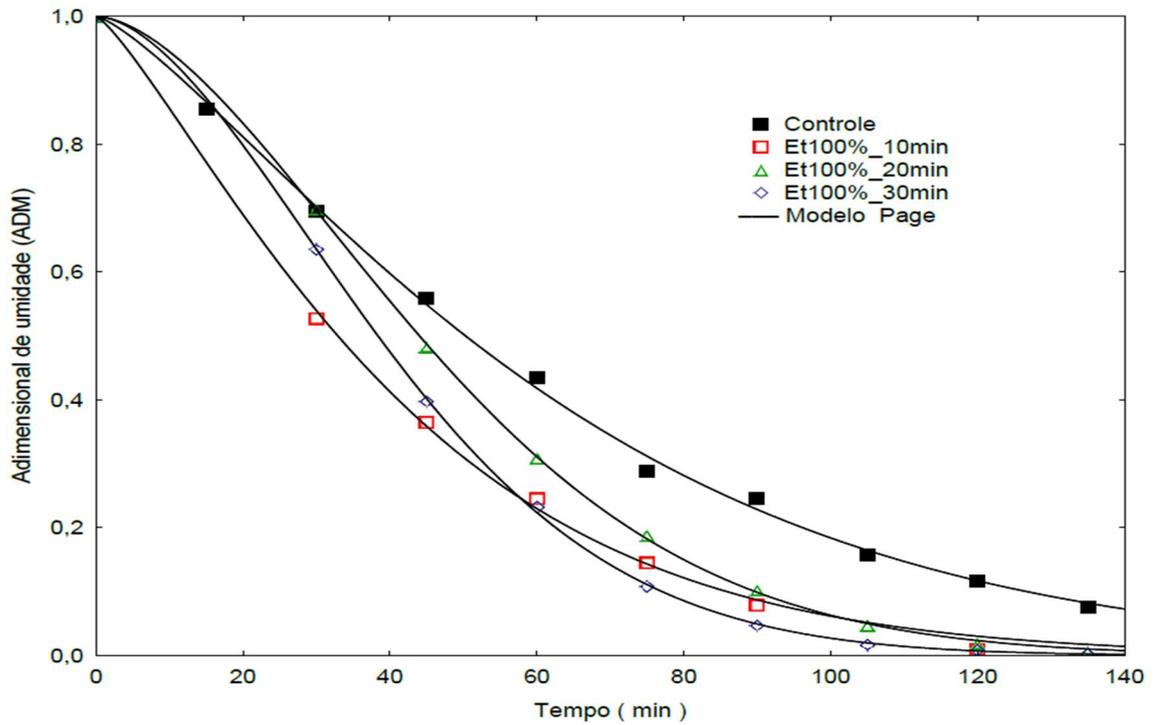
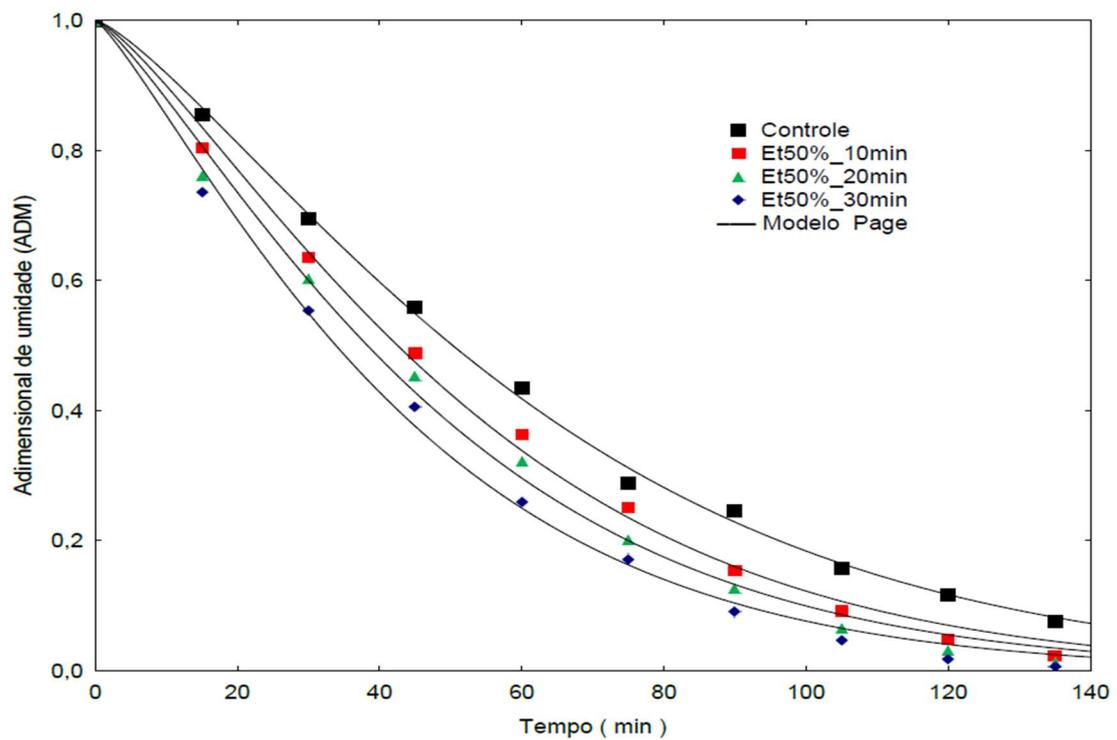


Figura 10 - Curvas do conteúdo de umidade predita e experimental do melão com pré-tratamento de EtOH 50% utilizando o modelo de Page.



A equação de Page é uma das equações empíricas de maior sucesso aplicadas para descrever a migração de água ao longo dos processos de secagem de alimentos (SIMPSON et al., 2017). Diversos autores reportaram bons ajustes quando avaliaram as curvas das cinéticas de secagem, utilizando os seis modelos empíricos. O modelo de Page foi o que melhor se adequou a curva cinética apresentada por Khampakool et al. (2019) e de Hawa et al. (2021), onde foram avaliados a eficácia da liofilização assistida por infravermelho para produzir chips de banana e a eficácia do secador solar de convecção forçada para desidratar a fruta cabya, respectivamente. O modelo de Page também obteve os melhores ajustes na secagem convectiva das batatas com pré-tratamento com etanol em diferentes concentrações, segundo Guedes et al. (2021), e no pré-tratamentos com etanol e ultrassom na secagem por infravermelho de fatias de batata no estudo de Rojas e Augusto (2018a).

Avaliando os parâmetros do modelo de Page (Tabela 5), um aumento no valor de k é notável para uma maior concentração de etanol no pré-tratamento da amostra. Outro fato a se observar são os valores de n , que são maiores que 1. Simpson et al. (2017) afirma que o parâmetro k está associado à difusividade efetiva e à geometria da amostra, enquanto o parâmetro n está relacionado à microestrutura do alimento e ao mecanismo de transferência de massa (o tipo de difusão). Quando $n > 1$, o processo é caracterizado como superdifusivo, enquanto quando $n < 1$, o processo é subdifusivo. Guedes et al. (2021) concluíram que isso indica a presença de outros fenômenos envolvidos durante a transferência de massa em relação à difusão pura, como a capilaridade e o Efeito Marangoni.

5.1.3 Difusividade efetiva

A secagem é um processo complexo que envolve a difusão da umidade em uma matriz alimentar e a transferência simultânea de calor e massa (GUO et al., 2020). Os valores da difusividade efetiva (D_{ef}) do melão cantaloupe nos diferentes métodos de secagem estão apresentados na Tabela 6.

Observa-se que há uma variação nos valores da difusividade nos diferentes métodos aplicados. Esses valores variam na faixa de $5,55 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $11,79 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Valores na ordem de 10^{-10} também foram encontrado por Aydogdu et al. (2015) e por Guo et al. (2020) na secagem convectiva de berinjelas e na secagem por infravermelho de cenoura.

Tabela 6 - Valores da difusividade efetiva (D_{ef}) para o melão Cantaloupe nos diferentes métodos de secagem

Método	$D_{ef} \times 10^{10} \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	R^2
Controle	5,55	0,9720
EtOH 100%_10min	8,51	0,9832
EtOH 100%_20min	9,59	0,9846
EtOH 100%_30min	11,79	0,9887
EtOH 50%_10min	6,61	0,9736
EtOH 50%_20min	7,18	0,9780
EtOH 50%_30min	7,89	0,9795

As difusividades variam de acordo com os diferentes métodos de secagem. Sendo assim, observou-se um aumento da difusividade efetiva quando se aumentava o tempo de imersão das amostras de melão Cantaloupe no etanol. Rojas et al. (2020) além de encontrarem um aumento da difusividade efetiva, quando as amostras de maçã permaneciam mais tempo imersas no etanol acelerando o processo de secagem, também obtiveram resultados na mesma ordem de grandeza observados na Tabela 6.

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 DE QUALIDADE

Na Tabela 7 são mostrados os tempos necessários para que as amostras do melão cantaloupe atinjam 20% de umidade.

Tabela 7 - Tempo necessário para que as amostras atinjam 20% de umidade na base umida (X_{bu}).

Tipo de ensaio	Tempo (min)
Controle	205
EtOH 100%_10min	111
EtOH 100%_20min	105
EtOH 100%_30min	94
EtOH 50%_10min	201
EtOH 50%_20min	166
EtOH 50%_30min	134

5.2.1 Atividade de água

A atividade da água tem um impacto muito significativo no curso de diferentes processos biológicos, incluindo o desenvolvimento de microrganismos. Por ser a atividade da água uma medida da água livre contida em um determinado material biológico, ela permite estimar a intensidade de sua associação com outros componentes não aquosos (SZADZIŃSKA; MIERZWA, 2021).

Na Tabela 8, estão dispostos os valores para atividade de água (a_w) das amostras secas do melão cantaloupe. Observa-se que os valores de a_w foram significativamente reduzidos ($p < 0,05$) após a secagem. Isso mostra que o pré-tratamento e a desidratação foram efetivos para a redução do parâmetro de atividade de água e assim, melhorar a estabilidade do melão cantaloupe.

Tabela 8 - Valores médios de atividade de água (a_w) do melão in natura e pelos respectivos métodos

Método	a_w
<i>In natura</i>	0,94 ± 0,03 ^e
Controle	0,44 ± 0,02 ^b
EtOH 100%_10min	0,51 ± 0,01 ^a
EtOH 100%_20min	0,59 ± 0,01 ^d
EtOH 100%_30min	0,52 ± 0,02 ^a
EtOH 50%_10min	0,56 ± 0,01 ^c
EtOH 50%_20min	0,50 ± 0,01 ^a
EtOH 50%_30min	0,50 ± 0,01 ^a

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

A fruta fresca apresentou uma atividade de água de 0,94, um valor próximo foi encontrado por Cunha (2019), para o melão cantaloupe fresco, que foi de 0,96. Com a aplicação do pré-tratamento osmótico, esses valores de a_w foi reduzida a aproximadamente 0,52 em todas as amostras. Szadzińska e Mierzwa (2021) também obtiveram comportamento semelhante na secagem convectiva com microondas dos cogumelos brancos onde a atividade de água *in natura* foi de 0,984 e após a secagem ficaram entre 0,317 a 0,447. Segundo Sagar e Kumar (2010), os produtos alimentícios desidratados são considerados seguros, do ponto de vista microbiológico, uma vez que são caracterizados por uma baixa atividade de água (a_w), e geralmente nenhum crescimento microbiológico ocorre abaixo de 0,62.

5.2.2 Cor

Segundo Onwude et al. (2019) e Motta et al. (2015), a mudança de cor é um importante atributo para julgar a qualidade e a boa aparência dos alimentos, além de influenciar na preferência do consumidor. Os resultados da avaliação de cor do melão estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios para cor do melão cantaloupe *in natura* e seca pelos respectivos métodos

Método	L*	a*	b*	ΔE
<i>In natura</i>	63,40 ± 2,91 ^e	15,30 ± 0,49 ^b	27,18 ± 1,54 ^d	-
Controle	52,69 ± 0,35 ^{bcd}	22,37 ± 3,62 ^a	35,12 ± 2,97 ^a	15,94 ± 0,85 ^a
EtOH 100%_10min	48,54 ± 2,81 ^{ab}	19,68 ± 0,66 ^a	33,67 ± 0,50 ^a	15,43 ± 1,36 ^a
EtOH 100%_20min	51,22 ± 0,39 ^{abc}	21,31 ± 0,72 ^a	36,20 ± 0,65 ^{ab}	16,69 ± 0,38 ^{ab}
EtOH 100%_30min	53,54 ± 1,47 ^{cd}	20,32 ± 0,83 ^a	35,46 ± 0,70 ^a	14,55 ± 0,73 ^a
EtOH 50%_10min	56,09 ± 1,14 ^d	16,46 ± 1,08 ^b	39,31 ± 0,27 ^{bc}	14,33 ± 0,13 ^a
EtOH 50%_20min	49,41 ± 0,66 ^{abc}	22,89 ± 1,73 ^a	40,46 ± 0,04 ^c	19,85 ± 0,29 ^b
EtOH 50%_30min	56,09 ± 1,14 ^a	16,46 ± 1,08 ^a	39,31 ± 0,27 ^{abc}	14,33 ± 0,13 ^a

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

Observa-se na Tabela 9 que as amostras *in natura* apresentam uma luminosidade (L^*) significativamente maior ($p < 0,05$) em comparação com as amostras secas, o que indica uma redução no brilho da fruta após a secagem. Resultados semelhantes foram encontrados por Freitas et al. (2021), Silva et al. (2019) e Silva Júnior et al. (2018) na secagem do abacaxi, da nectarina e do mamão, respectivamente. Esta redução significativa pode ser atribuída à reação de escurecimento e degradação do pigmento durante o processo de secagem (XU et al., 2020).

A temperatura e o tempo de secagem são parâmetros que estão diretamente ligados as reações de escurecimento durante a secagem (ONWUDE et al., 2019). Ainda se tratando da luminosidade, observa-se que há um decréscimo maior dos valores de L^* para as amostras tratadas com etanol 100%, Cunha et al. (2019) justificam que quanto maior a concentração de etanol no pré-tratamento, maior será a redução na luminosidade (L^*).

A coloração da polpa do melão está diretamente relacionada à quantidade de carotenóides presentes no fruto (FLASHMAN et al., 2011). Um aumento nos valores da cor vermelha (a^*) e amarela (b^*), após a secagem, foi observado nas amostras secas (Tabela 9). Wu et al. (2019) afirma que o aumento da cor vermelha (a^*) pode ser causada pela “reação de escurecimento” durante o processo de secagem. Já o aumento no valor de b^* pode ser devido à concentração de certos fitoquímicos amarelados (possivelmente compostos fenólicos) quando uma grande quantidade de umidade foi removida após aquecimento

prolongado (ZHU et al.,2010). Resultados semelhantes foram encontradas por Freitas et al. (2021) e Silva et al. (2016) na secagem convectiva do abacaxi e do melão, respectivamente. Pê et al. (2015) justificaram o aumento dos valores de (a*) e (b*) com o aumento da concentração de carotenóides em amostras desidratadas.

5.2.3 Teor de fenólicos totais

Manter o conteúdo fenólico durante a secagem é uma questão crucial, uma vez que os compostos fenólicos, onipresentes nas plantas, são um componente crítico na dieta humana e chamam atenção significativa por causa de seus atributos antioxidantes (JAFARI et al., 2020). No presente estudo, os teores de fenólicos totais foram avaliados antes e depois da secagem, sendo os valores obtidos apresentados na Tabela 10. Verifica-se que o teor de fenólicos encontrados na fruta fresca foi de 4,01 mg EAG.g⁻¹ MS, valor semelhante foi encontrado por Cunha et al. (2019) para o melão Cantaloupe (3,66 mg EAG. g⁻¹ MS). Boateng et al. (2021) reportaram o mesmo comportamento na secagem do *Ginko biloba* L., em que houve aumento dos teores de fenólicos para as amostras secas com infravermelho. Segundo os autores, o infravermelho tem uma alta capacidade de penetração, de modo que pode quebrar mais células, liberando polifenóis livres conforme temperatura e tempo de secagem aumentam.

Tabela 10 - Valores médios em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para o teor de fenólicos totais do melão Cantaloupe *in natura* e seca pelos respectivos métodos

Método	Fenólicos totais (mg EAG.g ⁻¹ MS)	% Retenção
<i>In natura</i>	4,01 ± 0,03 ^{abc}	-
Controle	4,77 ± 0,07 ^{ab}	118
EtOH 100%_10min	1,79 ± 0,01 ^e	45
EtOH 100%_20min	3,45 ± 0,00 ^{cd}	86
EtOH 100%_30min	1,86 ± 0,02 ^e	46
EtOH 50%_10min	3,61 ± 0,51 ^{bcd}	90
EtOH 50%_20min	3,50 ± 0,02 ^a	87
EtOH 50%_30min	2,68 ± 0,01 ^{de}	67

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

Cunha et al. (2019) estudaram o efeito da concentração de etanol no pré-tratamento de melão Cantaloupe, seguida de secagem convectiva a 60 °C, no teor de fenólicos totais. Os resultados encontrados pelos autores foram 0,6 mg EAG.g⁻¹ MS para secagem controle (sem pré-tratamento), 0,44 mg EAG.g⁻¹ MS para amostra pré-tratada por 10 min em etanol 100% e 0,50 mg EAG. g⁻¹ MS quando o etanol 50% foi utilizado por 10 min. Esses valores chegam a ser 6 vezes menores que os encontrados na Tabela 10 para secagem por infravermelho nas mesmas condições de temperatura e concentrações de etanol. Esse fato pode estar atrelado ao

tempo de secagem, uma vez que as amostras que foram pré-tratadas com etanol 50% precisaram de mais tempo para atingir a umidade de 20%. Wu et al. (2019) afirma a secagem rápida pode inativar enzimas oxidativas e preservar melhor os compostos fenólicos. Nos estudos da secagem da fruta chokeberry a 50 °C, isso pode ser justificado pelo fato de que a secagem por infravermelho ser capaz de aumentar a taxa de extração dos compostos fenólicos por meio de maior interação intermolecular (SUI et al., 2014).

Ainda em relação aos resultados obtidos (Tabela 10), os maiores valores de fenólicos totais foram obtidos nas amostras secas pré-tratadas com a concentração de etanol de 50%, sendo a amostra submetida à etapa de imersão em etanol 50% por 10 min a que apresentou o maior teor fenólico (3,61 mg EAG.g⁻¹ MS) e maior retenção, quantificada em 90%. Bozkir et al. (2019) em seus estudos sobre a influência do ultrassom e a desidratação osmótica na secagem do caqui, afirmaram que os menores valores para o teor fenólico na concentração de 100% pode ser devido à transferência de massa aumentada entre as amostras de melão Cantaloupe e o meio osmótico, o que pode afetar positivamente na perda de água, mas negativamente os fenólicos devido à maior migração de compostos durante a desidratação osmótica, promovendo, assim, a perda desses compostos pela amostra durante o pré-tratamento.

5.2.4 Teor de ácido ascórbico

Os resultados do teor de ácido ascórbico das amostras de melão são mostrados na Tabela 11. Observa-se uma redução significativa ($p > 0,05$) após as secagens, principalmente com a utilização do etanol como pré-tratamento. Comportamento semelhante foi observado por Freitas et al. (2021) e Cunha et al. (2019) na secagem convectiva de abacaxi e melão, respectivamente, com pré-tratamento utilizando etanol nas concentrações de 100% e 50%. Entretanto, Cunha et al. (2019) obtiveram valores superiores aos encontrados no presente estudo. Davey et al. (2000) reportaram que a secagem por infravermelho mostrou uma influência considerável na redução do teor de vitamina C, uma vez o ácido ascórbico é uma vitamina muito frágil, e muito suscetível a danos pela luz. Ainda, Yao et al. (2020) afirmam que essas perdas são também justificadas pela instabilidade e sensibilidade da vitamina C a presença de calor e de oxigênio no processo de secagem.

Tabela 11 - Valores médios em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para o teor de ácido ascórbico (vitamina C) do melão Cantaloupe *in natura* e seca pelos respectivos métodos

te	Ácido ascórbico (mg.100 g ⁻¹ MS)	% Retenção
<i>In natura</i>	175,2 ± 3,78 ^a	-
Controle	96,29 ± 8,32 ^b	55
EtOH 100%_10min	14,60 ± 0,46 ^f	8
EtOH 100%_20min	42,53 ± 2,28 ^{de}	24
EtOH 100%_30min	17,65 ± 0,97 ^f	10
EtOH 50%_10min	63,95 ± 4,20 ^c	36
EtOH 50%_20min	55,68 ± 5,19 ^{cd}	32
EtOH 50%_30min	33,18 ± 2,30 ^e	19

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

As amostras submetidas ao pré-tratamento com etanol com concentração de 50% e secas obtiveram a maior retenção de ácido ascórbico em relação ao melão pré-tratado com etanol na maior concentração. Wang et al. (2019) atribui ao fato de que a absorção do etanol reduziu o contato da água com o ácido ascórbico, protegendo-o contra a oxidação.

5.2.5 Teor de carotenóides totais

Os resultados dos teores de carotenóides das amostras de melão (Tabela 12) mostraram uma redução após a secagem. Tal comportamento também foi obtido por Medeiros et al. (2016) na secagem da manga, Freitas et al.(2021) na secagem do abacaxi e Cunha et al. (2019) na secagem do melão Cantaloupe. De acordo com Rawson et al. (2011), esse fato já era esperado uma vez que os carotenóides são compostos sensíveis ao calor, luz e oxigênio.

Tabela 12 - Valores médios em massa seca (MS) e porcentagem de retenção para o teor de carotenóides do melão Cantaloupe *in natura* e seca pelos respectivos métodos

Método	Carotenoides (µg. g ⁻¹ MS)	% Retenção
<i>In natura</i>	154,71 ± 2,25 ^a	-
Controle	34,13 ± 0,06 ^{bc}	22
EtOH 100%_10min	10,06 ± 0,03 ^d	6
EtOH 100%_20min	16,89 ± 0,07 ^{cd}	11
EtOH 100%_30min	12,10 ± 0,03 ^d	8
EtOH 50%_10min	41,33 ± 0,51 ^b	51
EtOH 50%_20min	44,64 ± 0,08 ^b	29
EtOH 50%_30min	17,07 ± 0,17 ^{cd}	11

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

Para as amostras *in natura* foram obtidos teores de carotenoides de 154,71 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MS (Tabela 12), permanecendo na faixa de valores encontrado por Cunha et al. (2019) para o melão fresco (148,08 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MS). Após a secagem, observa-se que os melhores resultados para retenção de carotenoides foram obtidos para as amostras que foram pré-tratadas com solução de etanol 50%. Cunha et al. (2019) reportaram esse mesmo comportamento na secagem convectiva do melão Cantaloupe, utilizando um pré-tratamento em solução etanólica de concentração 100% e 50%. Os autores justificaram que os carotenóides são moléculas lipossolúveis (substâncias apolares) e solúveis em solventes orgânicos como o etanol, mas insolúveis em água (substâncias polares), o que pode explicar a baixa retenção de carotenóides quando a solução de etanol na concentração de 100%, foi usada como pré-tratamento e comparada com a solução etanólica na concentração de 50%. Ainda, durante a secagem, ocorre a troca de calor (entre o ar quente e a amostra) e a mudança de fase (líquido para vapor). Parte do líquido dentro das amostras pré-tratadas é composta por etanol e água, cuja vaporização ocorre em temperatura inferior à da água (ROJAS et al.,2020). Então, em uma maior concentração maior de etanol, há uma maior solubilidade dos carotenóides facilitando a saída desses para o meio, diminuindo a retenção de carotenoides como exposto na Tabela 12.

5.2.6 Consumo energético

Reduzir o consumo energético dos processos é um aspecto relevante (CÁRCEL et al., 2012). Devido ao alto grau de poluição ambiental, a proteção do ambiente natural, a redução do consumo de energia é um dos desafios mais significativos para a sociedade e a indústria moderna. Portanto, a seleção de uma técnica de secagem apropriada que permite mais economia de energia do que outros métodos é uma tarefa muito desafiadora (SZADZIŃSKA; MIERZWA, 2021).

O consumo total de energia dos processos foi de 0,68 kWh até 1,46 kWh (Tabela 13). A amostra controle (secagem convectiva sem pré-tratamento) foi o método que obteve o maior tempo de processamento e o maior consumo (1,46 kWh), enquanto a secagem por infravermelho de amostras pré-tratadas com etanol 100% por 30 min obteve o menor consumo energético (0,68 kWh).

Tabela 13 – Consumo de energia durante a secagem do melão cantaloupe

Método	Tempo (min)	Consumo Energético (kWh)
Controle	205	1,46
EtOH 100%_10min	111	0,83
EtOH 100%_20min	105	0,99
EtOH 100%_30min	94	0,68
EtOH 50%_10min	201	1,72
EtOH 50%_20min	166	1,42
EtOH 50%_30min	134	1,16

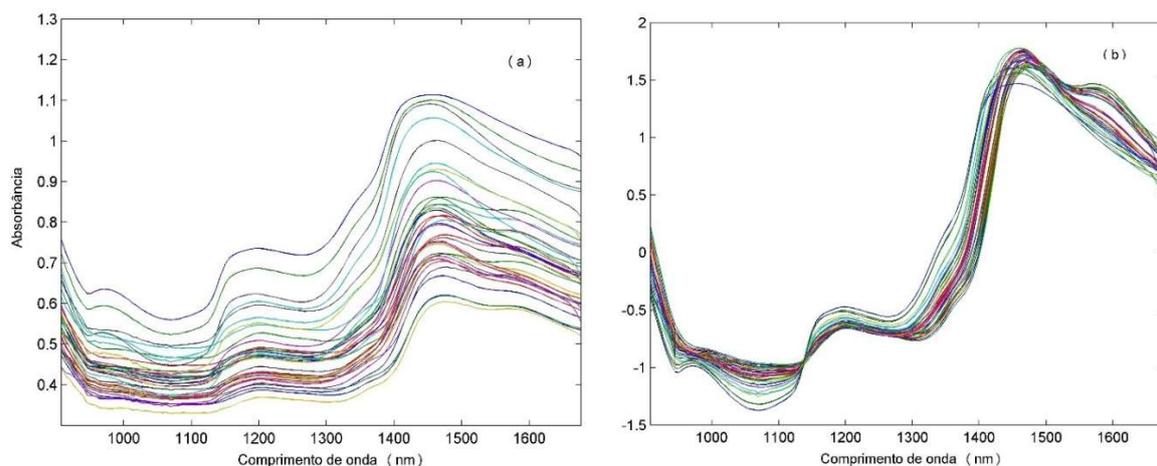
Médias seguidas de índices sobrescrito iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A redução do consumo energético comparando o método de maior consumo com o de menor consumo foi de aproximadamente 53%. Essa economia no consumo energético, do ponto macro, parece bastante estratégico para a indústria, uma vez que há a redução de tempo e de custo do processo.

5.2.7 Análise espectral NIR

A Figura 11 ilustra os espectros NIR médios obtidos para as 178 amostras *in natura*, e as secas controle e pré tratadas com etanol.

Figura 11 – Espectros NIR das amostras secas do melão submetidas ao pré tratamento com EtOH (a), e pré-processadas por SNV (b).

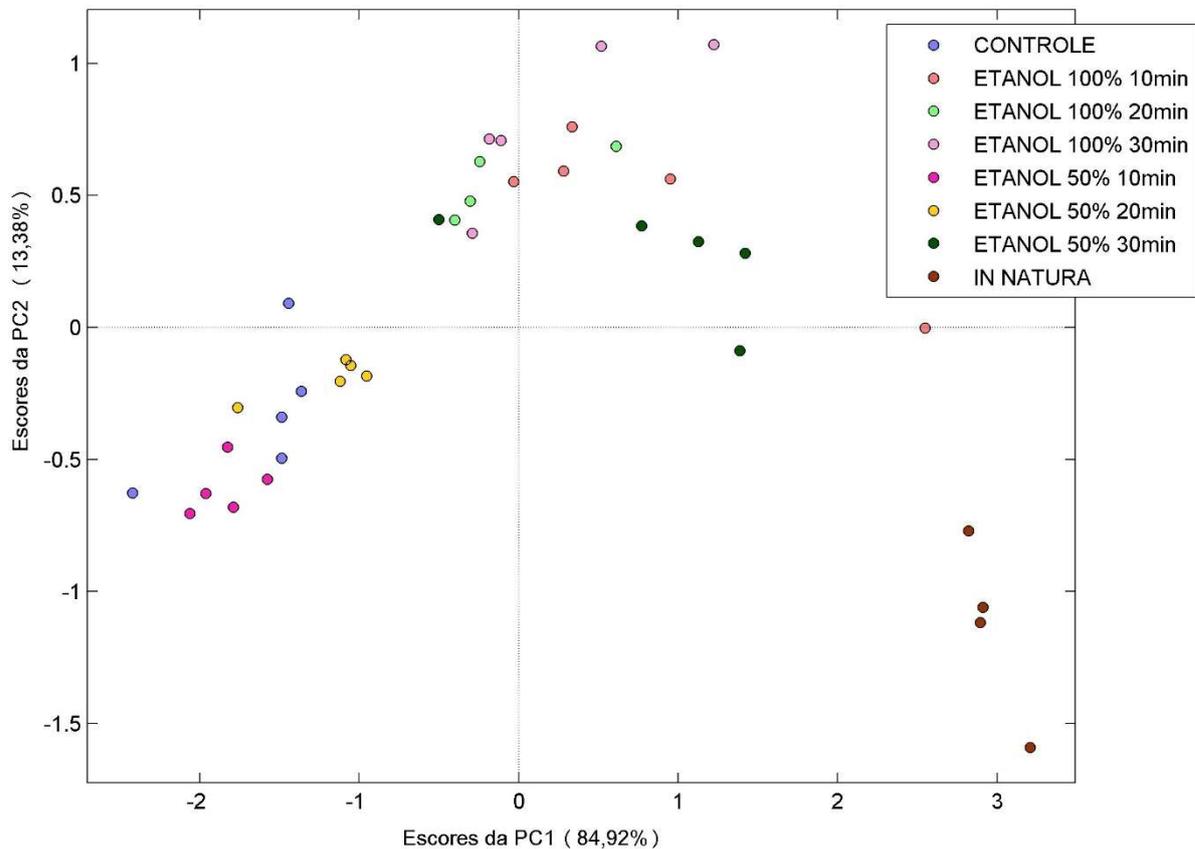


Os perfis espectrais se caracterizam por absorções nas regiões que compreendem o 1º. sobretom de estiramento de ligações C-H (1160 nm), além do 1º. sobretom de estiramento das ligações O-H da água (1460 nm) e do álcool (1410 nm) (WORKMAN; WEYER, 2012). Os espectros mostram desvios de linha de base associados ao espalhamento da radiação, comum

em amostras sólidas, evidenciando a necessidade de pré-processamento dos dados espectrais. Para esses espectros, o pré-processamento que melhor corrigiu o espalhamento da radiação, minimizando a informação relacionada à propriedade física, foi a SNV.

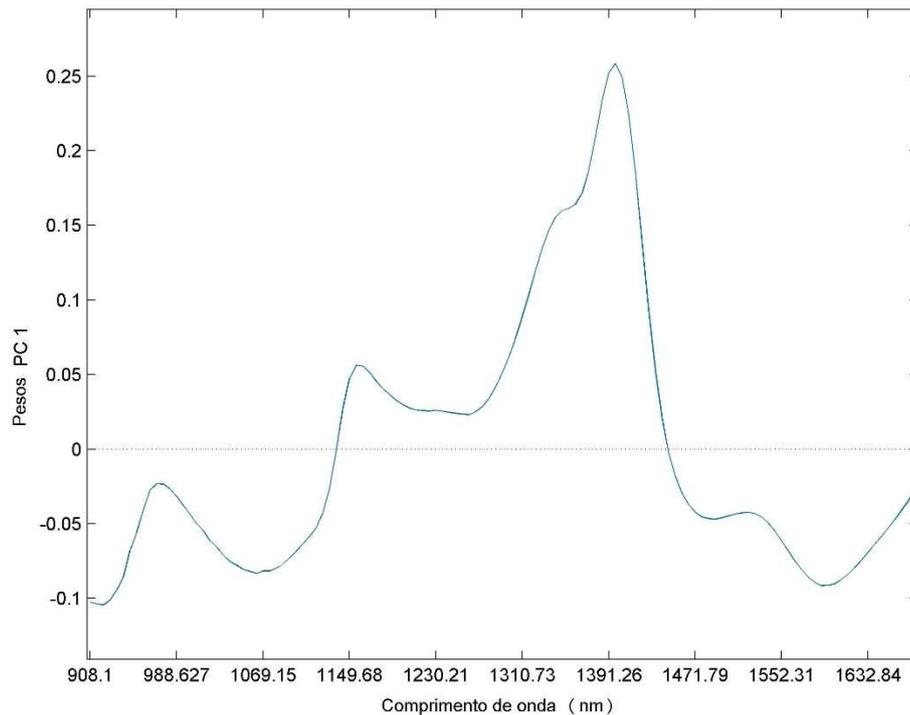
Para análise exploratória dos dados espectrais por PCA, utilizou-se espectros médios das bateladas do processo de secagem (38 espectros) considerando as amostras *in natura*, controle e as pré tratadas com etanol em diferentes tempos de imersão. A Figura 12 ilustra o gráfico dos escores de PC1xPC2, que juntas explicam 98,3% a variabilidade dos dados.

Figura 12 – Gráfico dos escores de PC1 x PC2 para os espectros médios das amostras *in natura*, controle e pré tratadas com etanol.



Nos escores mais negativos da PC1 aparecem as amostras controle e as amostras pré tratadas com etanol 50% nos tempos 10 e 20 min. Já nos escores mais positivos de PC1 encontram-se as amostras *in natura*. O gráfico dos pesos da PC1 (Figura 13) indica que essa posição das amostras *in natura* em relação às demais é devida a forte absorção da ligação O-H, região do 1°. sobretudo da ligação O-H da água (WORKMAN;WEYER, 2012)

Figura 13 – Gráfico dos pesos de PC1 x Comprimento de onda (nm).



Já a PC2, nos escores mais negativos aparecem as amostras *in natura*, e nos mais positivos as amostras secas pré tratadas com etanol 100% em diferentes tempos. Mais uma vez, os pesos indicam que esta apresentação está associada a informação da ligação O-H.

Ao retirar as amostras *in natura* da análise, observa-se que em PC1 (Figura 14), nos escores mais negativos tem-se as amostras controle e as amostras secas pré tratadas com etanol 50% nos tempos 10 e 20 min de imersão, amostras que demandaram maior tempo de secagem. Nos escores mais positivos tem-se as amostras pré tratadas com etanol 100%, amostras cujos tempos de secagem foram menores. Os pesos da PC1 (Figura 15) indicam que esta separação está associada a variáveis na região em torno de 1400 nm, associadas às informações da ligação O-H da água e do etanol.

Figura 14 – Gráfico dos escores de PC1 x PC2 para os espectros médios das amostras controle e pré tratadas com etanol, excluindo amostras *in natura*.

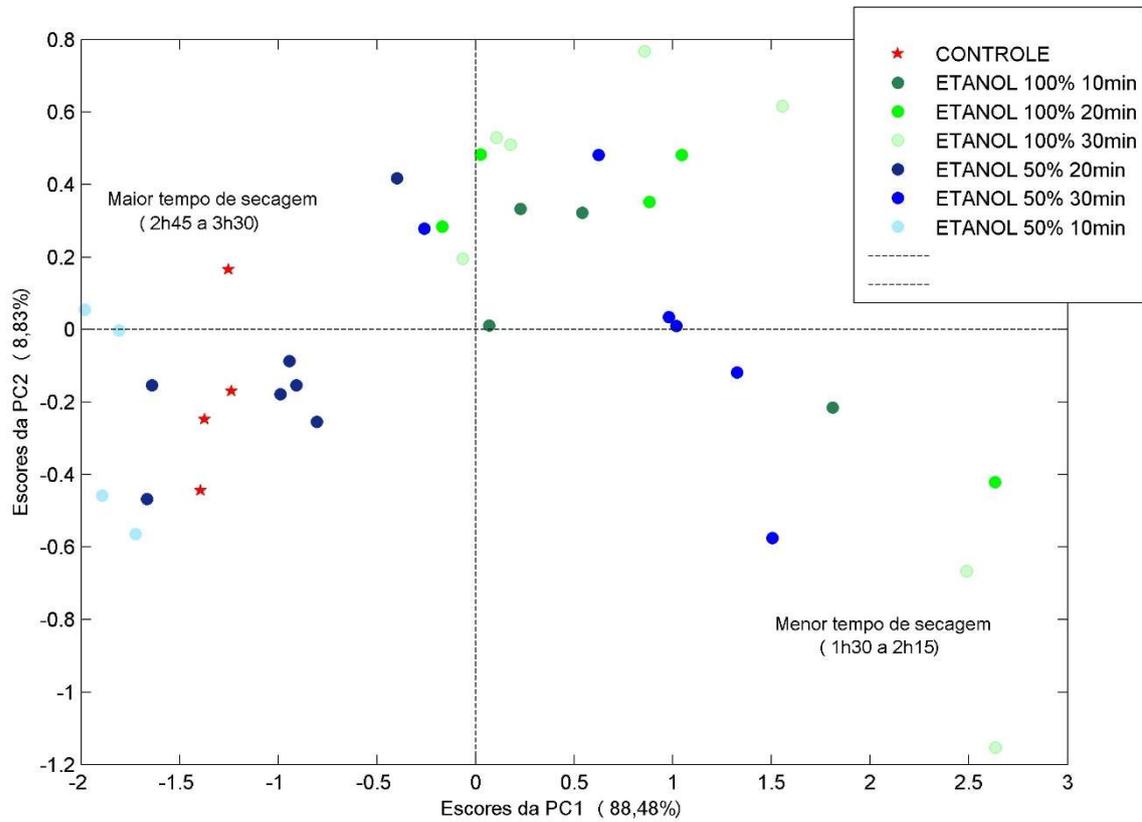
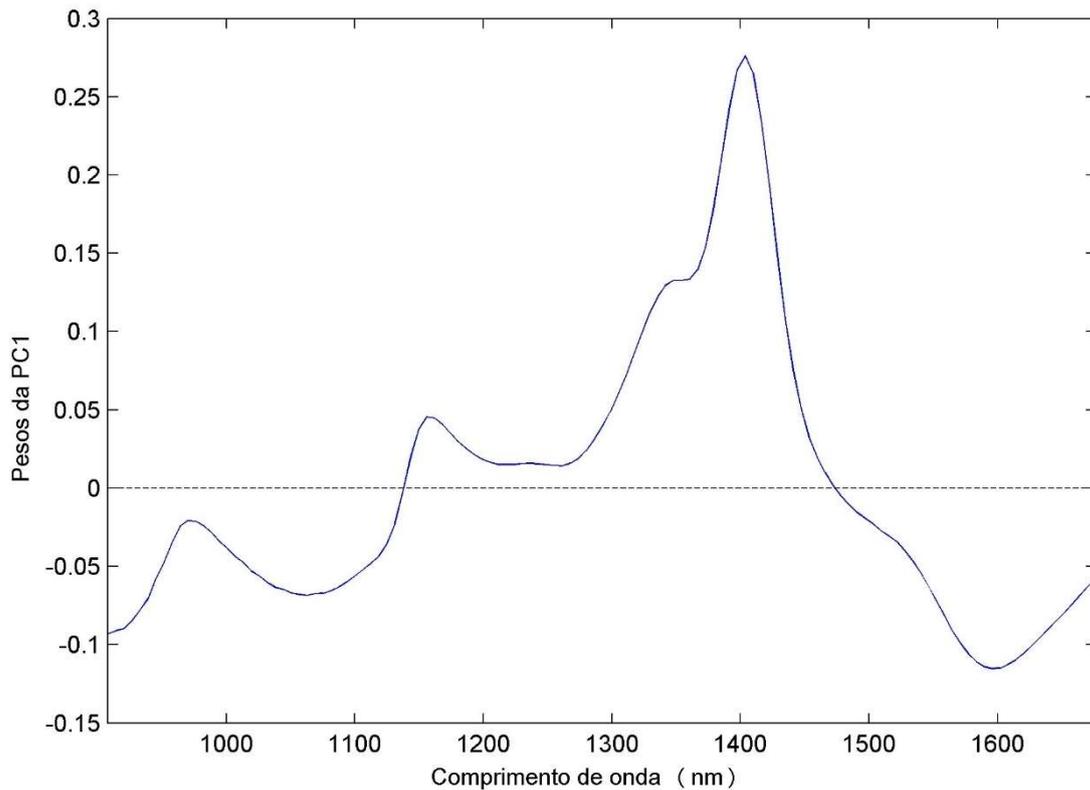


Figura 15 – Gráfico dos pesos de PC1 x Comprimento de onda (nm), sem as amostras *in natura*.



5.2.8 Calibração multivariada - Modelos PLS para os parâmetros de qualidade

Os modelos de calibração foram avaliados para os parâmetros fenólicos totais e ácido ascórbico, cujos valores obtidos pelos métodos de referência estão listados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente. Para os dados de carotenoides totais, os valores obtidos pelo método de referência (10,06 a 44,64 $\mu\text{g g}^{-1}$) não são detectáveis no infravermelho próximo (limite de detecção cerca de 0,1% m/m) (PASQUINI, 2003).

Os modelos foram calculados com os dados pré-processados com SNV, com 46 amostras para fenólicos totais (33 para calibração e 11 para previsão, com 2 outliers) e 56 amostras para ácido ascórbico (38 para calibração e 13 para previsão, com 5 outliers).

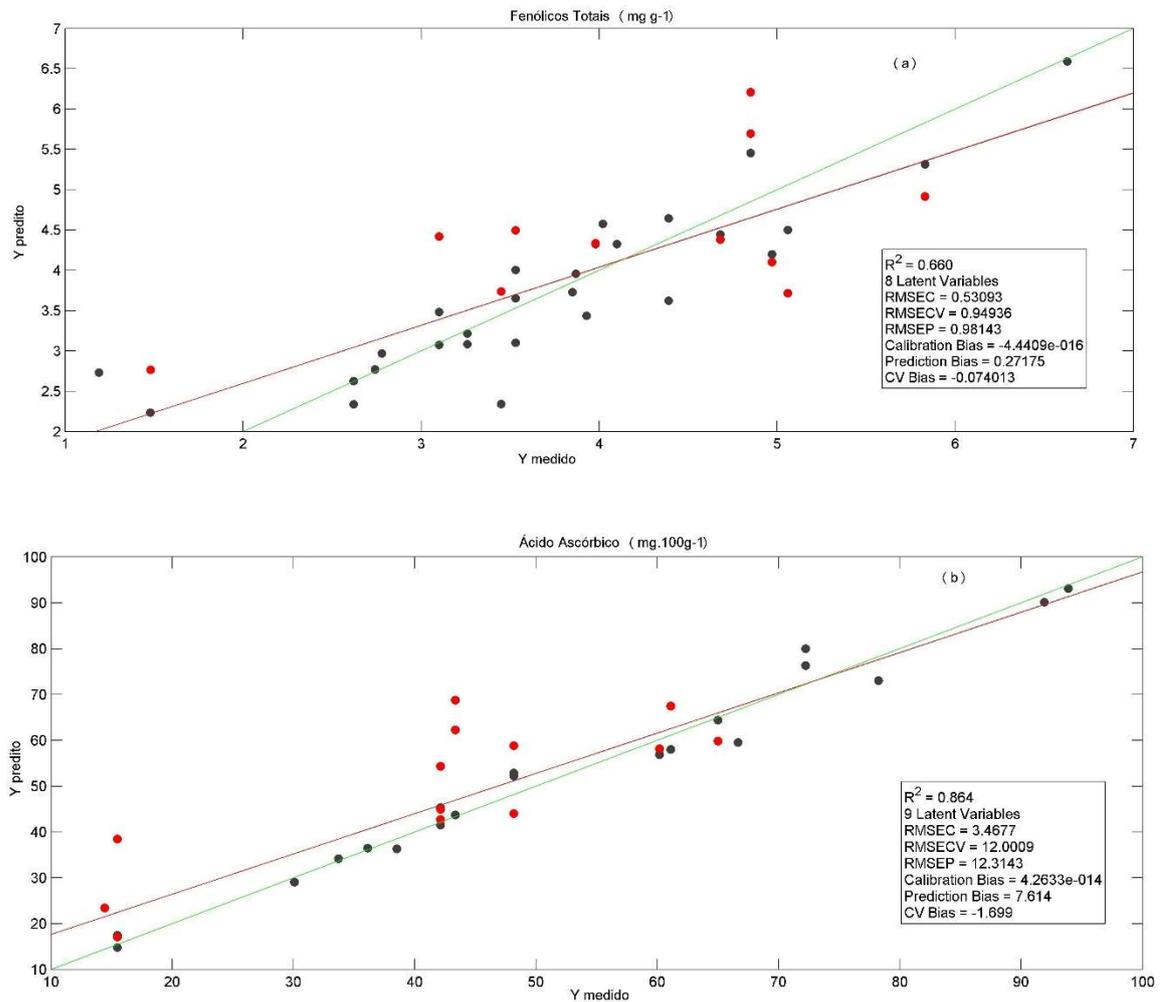
Na Tabela 14 tem-se os parâmetros estatísticos dos modelos PLS obtidos para fenólicos totais e ácido ascórbico.

Tabela 14 – Parâmetros estatísticos obtidos para os modelos PLS de fenólicos totais e ácido ascórbico.

	VL	RMSEC	RMSECV	RMSEP	Bias	R ²
Fenólicos totais ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	8	0,5309	0,9494	0,9814	-0,0074	0,660
Ác. ascórbico ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	9	3,4677	12,009	12,314	-1,6690	0,864

Os modelos PLS para os parâmetros de qualidade avaliados não foram totalmente satisfatórios. O elevado número de variáveis latentes pode indicar que os modelos se apresentam sobreajustados. Isso pode estar associado a faixa espectral estreita de análise do equipamento portátil (908 a 1676 nm), com poucas informações das ligações de interesse, características desses compostos, além da qualidade dos espectros obtidos que pode exigir tratamentos matemáticos mais complexos. Para fenólicos totais a literatura relata que a informação espectral se encontra nas regiões de absorção da água (GIOVANELLI et al ,2014), assim como para os ácidos orgânicos monoméricos, como ácido ascórbico, que também apresentam absorções nas regiões relacionadas a ligação O-H próximas a da água (GODDU;DELKER, 2002). Para corroborar essa informação, os coeficientes dos modelos obtidos evidenciaram as variáveis sempre na região de absorção da água. Na Figura 16, tem-se os gráficos dos valores previstos x medidos obtidos para fenólicos totais e ácido ascórbico.

Figura 16 – Gráfico dos valores previstos x medidos para fenólicos totais (a) e ácido ascórbico (b).



A literatura relata poucos trabalhos envolvendo a determinação de fenólicos totais e ácido ascórbico em frutas utilizando equipamento NIR portátil, e em frutas desidratadas não há relatos. Malegori e colaboradores (2017) avaliaram além de ácido ascórbico, acidez total em acerolas *in natura* por equipamentos de bancada e portátil (MALEGORI et al, 2017). Utilizando o equipamento portátil, para ácido ascórbico os autores relataram que não se obteve modelo PLS satisfatório ($R^2 < 0,5$), mas ao utilizar modelagem não linear através do algoritmo SVM (*Support Vector Machine*), os resultados de calibração e previsão mostraram-se confiáveis.

Utilizando equipamentos de bancada, a determinação do teor de fenólicos totais em maçãs *in natura* (GIOVANELLI et al ,2014) com espectros na faixa de 780-2500 nm, obteve resultados satisfatórios com erro de previsão menor que 10% e coeficiente de determinação de 0,92. Xie e colaboradores (2011) utilizaram espectros NIR obtidos em equipamento de bancada (800-2500 nm) para prever o teor de ácido ascórbico em beyberry (morango chinês)

in natura, além dos teores de ácido málico e acidez titulável (XIE et al, 2011). Os autores avaliaram modelos PLS considerando diferentes regiões do espectro, onde não há informação da água. Para o teor de ácido ascórbico, os melhores resultados ($R^2 = 0,8870$, erros menores que 10%) foram obtidos para a região 1850 – 1000 nm, onde concluem que este modelo é adequado para previsão de novas amostras.

6 CONCLUSÕES

Os resultados desse trabalho sugerem que a utilização do uso do etanol, como pré-tratamento, teve influência direta e positiva na redução do tempo de secagem do melão Cantaloupe quando comparada com a secagem controle (sem pré-tratamento com etanol). Através da cinética de secagem foi possível observar que o a pré-tratamento com etanol na concentração de 100% e com o tempo de imersão de 30 min obteve uma maior taxa de secagem e, conseqüentemente, o menor tempo de processo, apresentando o modelo de Page como o mais adequado a modelagem desse processo.

Independente do pré-tratamento utilizado, a atividade de água se manteve abaixo de 0,6 e além disso constatou-se que houve uma redução significativa dos parâmetros de qualidade, principalmente para o ácido ascórbico que foi fortemente reduzido devido a sensibilidade da luz e a imersão no etanol. Em relação as análises de cor, houve um decréscimo maior da luminosidade (L^*) nas amostras pré-tratadas com etanol 100%, por outro lado, um aumento nos valores de (a^*) e (b^*) foram observados indicando um escurecimento nas amostras que estão diretamente relacionados aos teores de fenólicos e carotenoides nas amostras secas.

Os modelos PLS obtidos para fenólicos totais e ácido ascórbico, baseados em espectros NIR, não apresentaram resultados satisfatórios. Os erros de calibração, validação e previsão foram elevados, baixa capacidade preditiva. A análise exploratória revelou a forte influência da absorção da água nos espectros.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, O.; DARDENNE, P.; BAETEN, V. Near-Infrared, Mid-Infrared, and Raman Spectroscopy. **Elsevier Inc.**, 2012.
- 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.
- ADAK, NAFIYE; HEYBELI, NURSEL; ERTEKIN, CAN. Infrared drying of strawberry. **Food Chemistry**, v. 219, p. 109-116, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.103>.
- AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, London-United Kingdom, v. 73, n. 12, p. 75–84, 2006.
- ALLWOOD, JW, CHEUNG, W, XU, Y, MUMM, R. Metabolimies in melon: a new opportunity for aroma analysis. **Phytochemistry**, v. 99, p. 61-72, 2014
- ALMEIDA, M. R. Espectroscopia Raman e quimiometria como ferramentas analíticas para química forense e paleontologia. 2015.148f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official an Analytical Chemistry** 17 ed. Washington: AOAC, 2002. 1115p
- AYDOGDU, AYCA; SUMNU, GULUM; SAHIN, SERPIL. Effects of Microwave-Infrared Combination Drying on Quality of Eggplants. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 6, p. 1198-1210, 25 fev. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-015-1484-1>.
- BAPTESTINI, F.M.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; ALMEIDA, L.F.J.; VARGAS-ELÍAS, G.A. Constant and decreasing periods of pineapple slices dried by infrared. **Agrária** (Recife. Online), v. 11, p. 53-59, 2016.
- BARROS, R. G. C.; ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. **Food Research International** 102, p. 84-92, 2017.
- BARTHUS, R.C. Aplicação de Métodos Quimiométricos para Análises de Controle de Qualidade de Óleos Vegetais utilizando Espectroscopias no Infravermelho e Raman. 1999. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, São Paulo.
- BEEBE, Kenneth R.; PELL, Randy J.; SEASHOLTZ, Mary Beth. **Chemometrics: A Practical Guide**. New York: Wiley-Interscience, 1998.

BIANCHETTI, Laís Gava. Influência do etanol na secagem convectiva de fatias de caqui Giombo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, 2019.

BRAGA, M. B.; MAROUELLI, W. A.; RESENDE, G. M.; MOURA, M. S. B.; COSTA, N.D.; CALGARO, M.; CORREIA, J. S. Coberturas do solo e uso de manta agrotêxtil (TNT) no cultivo do meloeiro. **Hortic. Bras.**, Vitória da Conquista, v. 35, n. 1, p. 147- 153, Mar. 2017.

BRAGA, A.M.P.; SILVA, M.A. Effect of ethanol on the drying kinetics and on the quality of pineapple slices. In Proceedings of the 17th International Drying Symposium (IDS 2010), Magdeburg, Germany, October 3–6. C, p. 1492–1497. 2010.

BRAGA, A. M. P. Estudo da retenção de constituintes voláteis na secagem de abacaxi sob atmosfera modificada. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de , Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos comestíveis, revogando a resolução- CNNPA nº12, de 24 de julho de 1978. Diário Oficial da União, Brasília 23 de setembro de 2005.

BRITO, E. S. Avaliação da capacidade antioxidante de variedades de melão (*Cucumis melo* L.) comercializadas no Brasil e determinação do teor de glutathione reduzida (GSH). 2017. 130 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2017

BROD, F.P.R. Avaliação de um secador vibro-fluidizado. 2003. 335p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BOATENG, ISAAC DUAH; YANG, XIAO-MING; LI, YUAN-YUAN. Optimization of infrared-drying parameters for *Ginkgo biloba* L. seed and evaluation of product quality and bioactivity. **Industrial Crops and Products**, v. 160, p. 113108, Fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113108>.

BOZKIR, HAMZA; ERGÜN, AHSEN RAYMAN; SERDAR, EMINE; METIN, GÜLHAN; BAYSAL, TANER. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 54, p. 135-141, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>.

BURNS, D.A.; CIURCZAK, E.W. Handbook of Near-Infrared Analysis. Second Edition, Revised and Expanded. **Practical spectroscopy series**. volume 27. Marcel Dekker, Inc. New York. (ISBN 0-8247-0534-3), 2001.

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.

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, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.038>.

CARVALHO, M. S. Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

CASTIGLIONI, G. L.; SILVA, F. A.; CALIARI, M.; JUNIOR, M. S. S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, v.17, n.9, p.987-994. 2013.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010 51 p. – (Documentos/ Embrapa Cerrados, ISSN DF 1517-5111, ISSN online 2176-5081 ; 276)

CELIN, E. F.; PASTORI, P. L.; NUNES; G. H. S.; ARAGÃO, F. A. S. Agronegócio brasileiro do melão na última década. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 53., 2014, Palmas. Anais... Palmas: ABH, 2014.

CEPEA. Hortifruti Brasil. Anuário 2020-2021. São Paulo. CEPEA, 2020. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/retrospectiva-2020-perspectivas-2021.aspx>> acesso em: 19 mar. 2021

CHAMPE, P. C.; HARVEY, R. A. FERRIER, D. R. Bioquímica Ilustrada. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 533p.

CHEN, X. D., & MUJUMDAR, A. S. (2009). Drying technologies in food processing. JohnWiley & Sons.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA, p. 785, 2005

COELHO, L.M.; WOSIACKI, G. Avaliação sensorial de produtos panificados com a adição de farinha de bagaço de maçã. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 3, p. 582-588, jul.set. 2010

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Balanço 2019 e perspectivas 2020. Brasília: CNA, 2020. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/paginas-especiais/balanco-2019-e-perspectivas-2020>. Acesso em: 1 maio 2020.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F, M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arábica* L.) durante o processo de secagem. *Rev. Ceres*, Viçosa, v.57, n.5, p.595-601. 2010.

COZZOLINO, D. Infrared Spectroscopy as a Versatile Analytical Tool for the Quantitative Determination of Antioxidants in Agricultural Products, Foods and Plants. *Antioxidants* 2015, 4, 482-497.

CRISÓSTOMO, J. R.; ARAGÃO, F. A. S. Melhoramento genético do melão. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2009, Fortaleza. Resumos... Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p. 210.

CRUZ-TIRADO, J.P.; MEDEIROS, MARIA LUCIMAR DA SILVA; BARBIN, DOUGLAS FERNANDES. On-line monitoring of egg freshness using a portable NIR spectrometer in tandem with machine learning. *Journal of Food Engineering*, v. 306, p. 110643, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110643>.

CUNHA, R.M.C. Efeito do etanol, pulso de vácuo e/ou ultrassom como pré-tratamento na secagem do melão (*Cucumis melo*). Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós Graduação em Nutrição, Recife, 2019.

CUNHA, RENATA MASUR CARNEIRO DA; BRANDÃO, SHIRLEY CLYDE RUPERT; MEDEIROS, RAFAEL AUGUSTO BATISTA DE; SILVA JÚNIOR, EDVALDO VIEIRA DA; SILVA, JOÃO HENRIQUE FERNANDES DA; AZOUBEL, PATRÍCIA MOREIRA. Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, v. 333, p. 127502, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127502>

DAVEY, MARK W; VAN MONTAGU, MARC; INZ, DIRK; SANMARTIN, MAITE; KANELIS, ANGELOS; SMIRNOFF, NICHOLAS; BENZIE, IRIS JJ; STRAIN, JOHN J; FAVELL, DEREK; FLETCHER, JOHN. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, v. 80, n. 7, p. 825-860, 15 maio 2000. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(20000515\)80:73.0.co;2-6](http://dx.doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(20000515)80:73.0.co;2-6).

DOYMAZ, I. Infrared drying kinetics and quality characteristics of carrot slice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39 (6) (2015), pp. 2738-2745, [10.1111/jfpp.12524](https://doi.org/10.1111/jfpp.12524)

DU, C. J.; SUN, D. W. Pizza sauce spread classification using colour vision and support vector machines. *Journal of Food Engineering*, 66, 137e14, 2005.

EMBRAPA, Embrapa semiárido. Sistema de produção de melão, sócioeconomia. Versão eletrônica, Agosto 2010. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmelao/socioeconomia.html>. Aces so em: 19 mar. 2021.

EMBRAPA, Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídrica – Brasília, DF: Embrapa, 2017. Versão eletrônica disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Lima-15/publication/319684971_Sistemas_conservacionistas_de_producao_de_melao_em_ambiente_protegido/links/59b9667ca6fdcc6872313833/Sistemas-conservacionistas-de-producao-de-melao-em-ambiente-protegido.pdf> acesso em: 18/03/2021.

ENTRENAS, JOSÉ-ANTONIO; PÉREZ-MARÍN, DOLORES; TORRES, IRINA; GARRIDO-VARO, ANA; SÁNCHEZ, MARÍA-TERESA. Simultaneous detection of quality

and safety in spinach plants using a new generation of NIRS sensors. **Postharvest Biology and Technology**, v. 160, p. 111026, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111026>.

FERGANY, M.; KAUR, B.; MONFORTE, A. J.; PITRAT, M.; RYS, C.; LECOQ, H.; DHILLON, N. P. S.; DHALIWAL, S. S. Variation in melon (*Cucumis melo*) Landraces adapted to the Humid tropics of Southern India. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p.1-19,2010.

FERREIRA, MÁRCIA M. C. Quimiometria I: Calibração Multivariada, um Tutorial. **Química Nova**, v. 22, n. 5, p. 8, 1999.

FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortalças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 489-526. ISBN: 978-65-86383-01-0.

FLESHMAN, MATTHEW K.; LESTER, GENE E.; RIEDL, KEN M.; KOPEC, RACHEL E.; NARAYANASAMY, SURESHBABU; CURLEY, ROBERT W.; SCHWARTZ, STEVEN J.; HARRISON, EARL H.. Carotene and Novel Apocarotenoid Concentrations in Orange-Fleshed Cucumis melo Melons: determinations of β -carotene bio accessibility and bioavailability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 9, p. 4448-4454, 11 maio 2011. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf200416a>.

FRANCINI A, PINTADO M, MANGANARIS GA AND FERRANTE A (2020) Editorial: Bioactive Compounds Biosynthesis and Metabolism in Fruit and Vegetables. **Front. Plant Sci.** 11:129. doi: 10.3389/fpls.2020.00129

FREITAS, LÍVIA DIAS CAMPÊLO DE; BRANDÃO, SHIRLEY CLYDE RUPERT; SILVA, JOÃO HENRIQUE FERNANDES DA; ROCHA, OTIDENE ROSSITER SÁ DA; AZOUBEL, PATRÍCIA MOREIRA. Effect of Ethanol and Ultrasound Pretreatments on Pineapple Convective Drying. **Food Technology and Biotechnology**, v. 59, n. 2, p. 209-215, 19 maio 2021.. <http://dx.doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.7045>.

FUNEBO, TOMAS; AHRNE, LILIA; PROTHON, FREDERIC; KIDMAN, SIW; LANGTON, MAUD; SKJOLDEBRAND, CHRISTINA. Microwave and convective dehydration of ethanol treated and frozen apple - physical properties and drying kinetics. **International Journal Of Food Science And Technology**, v. 37, n. 6, p. 603-614, ago. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00592.x>.

GATTI, RAFAELA F.; SANTANA, FELIPE B. DE; POPPI, RONEI J.; FERREIRA, DANIELA S.. Portable NIR spectrometer for quick identification of fat bloom in chocolates. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128267, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128267>.

GIOVANELLI G., SINELLI N., BEGHI R., GUIDETTI R., CASIRAGHI E. NIR spectroscopy for the optimization of postharvest apple management, **Postharvest Biology and Technology** v. 87, p.13–20, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.041>

GODDU R.F., DELKER D.A., Spectra-structure correlations for near-infrared region, **Anal. Chem.** 32 (2002) 140–141. <http://dx.doi.org/10.1021/ac60157a048>.

GUEDES, JAQUELINE S.; SANTOS, KAROLINE C.; CASTANHA, NANJI; ROJAS, MELIZA L.; MATTA JUNIOR, MANOEL D.; LIMA, DÂMARIS C.; AUGUSTO, PEDRO E.D.. Structural modification on potato tissue and starch using ethanol pre-treatment and drying process. **Food Structure**, v. 29, p. 100202, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100202>.

GÜLÇİN I. Antioxidant activity of l-adrenaline: A structure-activity insight. **Chem Biol Interact**. 2009

GUO, YITING; WU, BENGANG; GUO, XIUYU; DING, FANGFANG; PAN, ZHONGLI; MA, HAILE. Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: moisture migration and quality characterizations. **Lwt**, v. 126, p. 109312, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109312>.

HAWA, LA CHOVIYA; UBAIDILLAH, UBAIDILLAH; MARDIYANI, SITI ASMANIYAH; LAILY, AMIRADA NUR; YOSIKA, NUR IDA WINNI; AFIFAH, FIRDIANI NUR. Drying kinetics of cabya (*Piper retrofractum* Vahl) fruit as affected by hot water blanching under indirect forced convection solar dryer. **Solar Energy**, v. 214, p. 588-598, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.004>.

HEBBAR, H.U.; RASTOGI, N.K. Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. **Journal of Food Engineering**, v.47, n.1, p.1-5, 2001. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00088-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00088-1)>.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

HONGYU, K. Comparação do GGE-biplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente. 2015. 155p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

HUANG, DAN; YANG, PEI; TANG, XIAOHONG; LUO, LEI; SUNDEN, BENGT. Application of infrared radiation in the drying of food products. **Trends in Food Science & Technology**, [S.L.], v. 110, p. 765-777, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.039>.

HUANG, XIAOPENG; LI, WUQIANG; WANG, YONGMEI; WAN, FANGXIN. Drying characteristics and quality of *Stevia rebaudiana* leaves by far-infrared radiation. **Lwt**, [S.L.], v. 140, p. 110638, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110638>

JAFARI, FATEMEH; MOVAGHARNEJAD, KAMYAR; SADEGHI, EBRAHIM. Infrared drying effects on the quality of eggplant slices and process optimization using response surface methodology. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 333, p. 127423, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127423>.

- JASWIR I, NOVIENDRI D, HASRINI RF, OCTAVIANI F. Carotenoids: sources, medicinal properties and their application in food and nutraceutical industry. *J Med Plant Res*, 2011
- JUN, S.; KRISHNAMURTHY, K.; IRUDAYARAJ, J.; DEMIRCI, A. Fundamentals and Theory of Infrared Radiation. **Infrared Heating for Food and Agricultural Processing**. Ed. Pan, Z.; Atungulu, G. G. CRC Press, pp. 1-18, 2011.
- KHAMPAKOOL, APINYA; SOISUNGWAN, SALINEE; PARK, SUNG HEE. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: drying kinetics, energy consumption, and texture. *Lwt*, [S.L.], v. 99, p. 355-363, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.081>.
- KESH, HARI; KAUSHIK, PRASHANT. Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: An update, *Scientia Horticulturae*, v. 282, p. 110045, 2021
- KOCA, NURAY; BURDURLU, HANDE SELEN; KARADENIZ, FERYAL. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, [S.L.], v. 78, n. 2, p. 449-455, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.014>.
- LAURA M. LARA, SHANTAE A. WILSON, PENGYIN CHEN, G.G. ATUNGULU. The effects of infrared treatment on physicochemical characteristics of vegetable soybean. *Heliyon*, Volume 5, Issue 1, 2019, e01148, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01148>.
- LESTER G.E. Antioxidant, sugar, mineral, and phytonutrient concentrations across edible fruit tissues of orange-fleshed honeydew melon (*Cucumis melo* L.). *J Agric Food Chem*. 2008; 56:3694–8.
- LEONARDI, J. G.; AZEVEDO, B. M. Métodos de conservação de alimentos. *Revista Saúde em Foco*, v. 10, n. 1, 2018.
- 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.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. Applied multivariate statistical analysis. Madison: Prentice Hall International, 1998. 816p.
- MADAMBA, 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.
- MALEGORI, C., NASCIMENTO MARQUES, E. J., DE FREITAS, S. T., PIMENTEL, M. F., PASQUINI, C., & CASIRAGHI, E. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. *Talanta*, v.165, p.112–116, 2017 . doi:10.1016/j.talanta.2016.12.035

MANIWARA, PHONKRIT; NAKANO, KAZUHIRO; OHASHI, SHINTAROH; BOONYAKIAT, DANAI; SEEHANAM, PIMJAI; THEANJUMPOL, PARICHAT; POONLARP, PICHAYA. Evaluation of NIRS as non-destructive test to evaluate quality traits of purple passion fruit. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 257, p. 108712, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108712>.

MARINOVA, D.; RIBAROVA, F. HPLC determination of carotenoids in Bulgarianberries. **Journal of Food Composition and Analysis**, n. 20, p. 370-374, 2007.

MASSART, D. L.; VANDEGINSTE, B. G. M.; DEMING, S. N.; MICHOTTE, Y.; KAUFMAN, L.; Chemometrics: a textbook, Elsevier: Amsterdam, 1988.

MEDEIROS, RAFAEL AUGUSTO BATISTA DE; BARROS, ZILMAR MEIRELES PIMENTA; CARVALHO, CARLOS BRIAN OLIVEIRA DE; NETA, EUNICE GOMES FRAGA; MACIEL, MARIA INÊS SUCUPIRA; AZOUBEL, PATRÍCIA MOREIRA. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. **Lwt - Food Science and Technology**, [S.L.], v. 67, p. 167-173, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.049>.

MENEZES, J. B.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ALVES, R. E.; MAIA, C. E.; ANDRADE, G. G.; ALMEIDA, J. H. S.; VIANA, F. M. P. Característica do melão para exportação. In: ALVES, R. E. (Org.) Melão: pós-colheita. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 13-22.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. AGROSTAT - Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em:<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>. Acesso em: 14 março 2021.

MONGPRANEET, S; ABE, T; TSURUSAKI, T. Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 55, n. 2, p. 147-156, nov. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00058-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00058-4).

MORAIS, S. J. S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão- caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Rev. Ciênc. Agron.**, v.44, n.3, p.455-463. 2013.

MOTTA, J.D.; QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUERÊDO, R. M. F. DE. Índice de cor e sua correlação com parâmetros físicos e físico-químicos de goiaba, manga e mamão.-, **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 2015.

NEGREIROS, ANDREIA M.P.; SALES JÚNIOR, RUI; MAIA JÚNIOR, FRANCISCO F.; SILVA, RODOLFO B. ; COSTA, JOSÉ A.P. ; MEDEIROS, ERIKA V. . Lithothamnion calcareum Nanoparticles Increase Growth of Melon Plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 47, p. 426-431, 2018.

NESPOLO, C. R. et al. Práticas em tecnologia de alimentos. Porto Alegre: Artmed, 2015.

NETO, B. B.; PIMENTEL, M. F.; ARAÚJO, M. C. U. Recomendação para calibração em química analítica – Parte 1. Fundamentos e calibração com um componente (Calibração Univariada). **Química Nova**, Vol. 25, No. 5, 856-865, 2002.

- NETTO, José Marcelino de Souza. Avaliação da secagem do melão utilizando imagens hiperespectrais na região do infravermelho próximo. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- NIEMEYER, J.; CHEN, Y.; BOLLAG, J.M. Characterization of humic acids, composts and peat by diffuse reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p. 130-135, 1992.
- NISAR N, LI L, LU S, KHIN NC, POGSON BJ. Carotenoid metabolism in plants. *Molecular Plant*. 2015.
- NISHINO, T.; KYOHARA, H. Effect of the removal of yacon root astringency on taste and function. **J. Jpn. Soc. Food Sci.**, v. 60, p. 133 -137, 2013.
- OKOS, M.R.; CAMPANELLA, O.; NARSIMHAN, G.; SINGH, R.K.; WEITNAUER, A.C. Food Dehydration. In: HELDMAN, D.R.; LUND, D.B. **Handbook of Food Engineering**, Second Edition. CRC Press, Cap. 10, p.471–493, 2007.
- OLIVEIRA, A.D. Monitoramento in-line da etapa de esterificação ácida do processo de produção de biodiesel. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química Fundamental. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- OLIVEIRA, A. D. P. de. Utilização de métodos quimiométricos para análise quantitativa de glibenclamida comprimido utilizando as espectroscopias de infravermelho próximo e raman–desenvolvimento e validação de uma estratégia de pat. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós Graduação em Ciências Farmaceuticas, Recife, 2014.
- OLIVEIRA, M.M.; CRUZ-TIRADO, J.P.; ROQUE, J.V.; TEÓFILO, R.F.; BARBIN, D.F.. Portable near-infrared spectroscopy for rapid authentication of adulterated paprika powder. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 87, p. 103403, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103403>.
- ONWUDE, DANIEL I.; HASHIM, NORHASHILA; ABDAN, KHALINA; JANUS, RIMFIEL; CHEN, GUANGNAN. The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato. **Journal of Food Engineering**, v. 241, p. 75-87, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.008>.
- OTTO, M.; **Chemometrics**, Wiley: Weinheim, 1999.
- OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. The thin-layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 225-233, 1999.
- PARK, K.J. et al. Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem. 2007. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2007.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n.1, p.73-77, 2001a.

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**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001b.

PASQUINI, CELIO. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of The Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198-219, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-50532003000200006>.

PASQUINI, CELIO. Near infrared spectroscopy: a mature analytical technique with new perspectives ∴ a review. **Analytica Chimica Acta**, v. 1026, p. 8-36, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2018.04.004>.

PEREA-FLORES, M.J.; GARIBAY-FEBLES, V.; CHANONA-PÉREZ, J.J.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, 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, p. 64-71, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.008>.

PERERA, C. O. Selected quality attributes of dried foods. *Drying Technology*, v. 23, p. 717-730, 2005.

PÊ P.R., GOUVEIA J.P.G, SILVA F.L.H., SILVA D.R.S., SILVA G.S., CASTRO D.S.. Avaliação das características físico-químicas do mamão 'Formosa' in natura, osmodesidratado e seco. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, 9 (2015), p. 17.

PIMENTEL, M. F.; NETO, B. B. Calibração: Uma revisão para químicos analíticos. **Química Nova**, 19(3), 1996

PISSARD, AUDREY; MARQUES, EMANUEL JOSÉ NASCIMENTO; DARDENNE, PIERRE; LATEUR, MARC; PASQUINI, CELIO; PIMENTEL, MARIA FERNANDA; PIERNA, JUAN ANTONIO FERNÁNDEZ; BAETEN, VINCENT. Evaluation of a handheld ultra-compact NIR spectrometer for rapid and non-destructive determination of apple fruit quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, p. 111375, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111375>.

QUEIROGA, F. M. DE; COSTA, S. A. D. DA; PEREIRA, F. H. F. MARACAJÁ, P. B.; SOUSA FILHO, A. L. DE. Efeito de doses de ácido bórico na produção e qualidade de frutos de melão Harper. **Revista Verde**, v.5, p. 132-139, 2010.

REN, ZIFEI; YU, XIAOJIE; YAGOUB, ABU ELGASIM A.; FAKAYODE, OLUGBENGA ABIOLA; MA, HAILE; SUN, YANHUI; ZHOU, CUNSHAN. Combinative effect of cutting orientation and drying techniques (hot air, vacuum, freeze and catalytic infrared drying) on the physicochemical properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Lwt**, v. 144, p. 111238, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111238>.

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.

ROJAS, M.L.; AUGUSTO, P.E.D.; CÁRCEL, J.A. . Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 61, p. 102328, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102328>.

ROJAS, MELIZA LINDSAY; SILVEIRA, ISABELA; AUGUSTO, PEDRO ESTEVES DUARTE. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. **Food and Bioprocess Processing**, v. 119, p. 20-30, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.008>.

ROJAS, M.L.; AUGUSTO, P.E.D. Ethanol and ultrasound pre-treatment to improve infrared drying of potato slices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.49, n. April, p.65-75, 2018a

ROJAS, MELIZA LINDSAY; AUGUSTO, PEDRO E.D.. Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties. **Journal of Food Engineering**, v. 233, p. 17-27, set. 2018b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.028>.

ROSA, C.I.L.F., MORIBE, A.M., YAMAMOTO, L.Y., and SPERANDIO, D. Pós-colheita e comercialização. In: BRANDÃO

ROSSELÓ, C., SIMAL, S, SAJUAN, N., & MULET, A. (1997). Nonisotropic mass transfer model for green bean drying. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 45, 337-342.

SZADZIŃSKA, JUSTYNA; MIERZWA, DOMINIK. The influence of hybrid drying (microwave-convective) on drying kinetics and quality of white mushrooms. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 167, p. 108532, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2021.108532>.

SAGAR, V. R.; KUMAR, P. Suresh. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 15-26, jan. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>.

SALEHI F., GOHARI ARDABILI A., NEMATI A., LATIFI DARAB R. Modeling of strawberry drying process using infrared dryer by genetic algorithm–artificial neural network method. **Iranian journal of food science and technology**. v.14, n. 69; p.105-114, Nov. 2017.

SAMISTRARO, G. Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

SAMOTICHA, JUSTYNA; WOJDYŁO, ANETA; LECH, KRZYSZTOF. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **Lwt - Food Science and Technology**, v. 66, p. 484-489, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.073>.

SANDU, C. Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. **Biotechnol. Progr.** 2: 109–119, 1986.

SILVA, M. G.; CELEGHINI, R. M. S.; SILVA, M. A.. Effect of ethanol on the drying characteristics and on the coumarin yield of dried guaco leaves (*Mikania laevigata* SCHULTZ BIP. EX BAKER). **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 35, n. 3, p. 1095-1104, set. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20180353s20160481>.

SILVA, EDILENE SOUZA DA; BRANDÃO, SHIRLEY CLYDE RUPERT; SILVA, AMANDA LOPES DA; SILVA, JOÃO HENRIQUE FERNANDES DA; COELHO, ANTÔNIO CARLOS DUARTE; AZOUBEL, PATRÍCIA MOREIRA. Ultrasound-assisted vacuum drying of nectarine. **Journal of Food Engineering**, v. 246, p. 119-124, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.013>.

SILVA, J.H.F.; GALVÃO C.C.; SILVA E.S.; CAVALCANTI D.E.S.; ROCHA O.R.S., AZOUBEL P.M.; BENACHOUR M. Secagem convectiva de melão (*Cucumis melo* L.) com e sem pré-tratamento ultrassônico. São Paulo, Blucher (2018), pp. 2845-2848

SILVA JÚNIOR, EDVALDO VIEIRA DA; MELO, LÍVIA LINS DE; MEDEIROS, RAFAEL AUGUSTO BATISTA DE; BARROS, ZILMAR MEIRELES PIMENTA; AZOUBEL, PATRÍCIA MOREIRA. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. **Lwt**, v. 97, p. 317-322, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.017>.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L.; NOGUEIRA, R. M.: Secagem e secadores. IN: SILVA, J. S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Editora UFV, Viçosa, 2008.560p.

SILVA, VITOR HUGO da. Análise quantitativa de formas polimórficas do mebendazol no insumo farmacêutico ativo utilizando espectroscopias na região do infravermelho e terahertz. 2015. 95 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, M. A., BRAGA, A. M. P. AND SANTOS, P. H. S., Enhancement of fruit drying: the ethanol effect. In Proceedings of the 18th International Drying Symposium, Xiamen, China, 11-15 (2012).

SILVA, M. C. Alterações na biossíntese de carotenoides em leveduras induzidas por agentes químicos. Tese de Doutorado em Ciência de Alimentos – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, 2004.

SIMÕES, S.S. Desenvolvimento de métodos validados para a determinação de captopril usando espectrofotometria NIR e calibração multivariada. Tese (Doutorado em Ciências) Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

SIMPSON, RICARDO; RAMÍREZ, CRISTIAN; NUÑEZ, HELENA; JAQUES, A.; ALMONACID, SERGIO. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. **Trends in**

Food Science & Technology, v. 62, p. 194-201, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.003>.

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

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Princípios de Análise Instrumental. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.4

SORIA, ANA CRISTINA; VILLAMIEL, MAR. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 323-331, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>.

SOUZA, D. M.; MADARI, B. E.; GUIMARÃES, F. F. Aplicação de técnicas multivariadas e inteligência artificial na análise de espectros de infravermelho para determinação de matéria orgânica em amostras de solos. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p. 1738–1745, 2012.

SUN, YEMEI; WANG, YUJIE; HUANG, JING; REN, GUANGXIN; NING, JINGMING; DENG, WEIWEI; LI, LUQING; ZHANG, ZHENGZHU. Quality assessment of instant green tea using portable NIR spectrometer. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 240, p. 118576, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2020.118576>.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. Analisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 428 p., 1967

SUI, YINQIANG; YANG, JIHONG; YE, QIUHONG; LI, HUA; WANG, HUA. Infrared, Convective, and Sequential Infrared and Convective Drying of Wine Grape Pomace. **Drying Technology**, v. 32, n. 6, p. 686-694, 16 abr. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2013.853670>.

SWASDISEVI, T., DEVAHASTIN, S., NGAMCHUM, R. AND SOPONRONNARIT, S. Optimization of a drying process using infrared-vacuum drying of Cavendish banana slices Songklanakarin **J. Sci. Technol.**, 2007, 29(3): 809-81

TACO, Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. 4 a Edição, revisada e ampliada, UNICAMP, 2011.

TATEMOTO, YUJI; MIZUKOSHI, RYOSUKE; EHARA, WAKU; ISHIKAWA, EIJI. Drying characteristics of food materials injected with organic solvents in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. **Journal of Food Engineering**, [S.L.], v. 158, p. 80-85, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.006>.

TORKI-HARCHEGANI, M.; GHANBARIAN, D.; MAGHSOODI, V.; MOHEB, A. Infrared thin layer drying of saffron (*Crocus sativus* L.) stigmas: Mass transfer parameters and quality assessment. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 25, p. 426-432, 2017.

- TOSATO, P.G. Influência do etanol na secagem de maçã Fuji. 2012. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Lavras, 2012.
- VALDERRAMA, P.; BRAGA, J. W. B.; POPPI, R. J. Estado da arte de figuras de mérito em calibração multivariada. **Química Nova**. v. 32, n. 5, 1278-1287, 2009.
- VALDERRAMA, LEONARDO; PAIVA, VASSULA BELINATO; MARÇO, PAULO HENRIQUE; VALDERRAMA, PATRÍCIA. Proposal of a didactic experiment to teach principal component analysis. **Química Nova**, v. 39, n. 2, p. 245-249, jan. 2016. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150166>.
- VALMORBIDA, J. L.; VITOLO, M. R. Factors associated with low consumption of fruits and vegetables by preschoolers of low sócio-economic level. **Jornal de Pediatria**, v. 90, p.464-471, 2014.
- VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.28, p. 387- 394, 2008.
- 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.
- WILLIAMS, P.C. & SOBERING, D.C. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**. v. 1, n.1, p.25-33, 1993.
- WOJDYŁO, Aneta; LECH, Krzysztof; NOWICKA, Paulina; HERNANDEZ, Francisca; FIGIEL, Adam; CARBONELL-BARRACHINA, Angel Antonio. Influence of different drying techniques on phenolic compounds, antioxidant capacity and colour of ziziphus jujube mill. Fruits. **Molecules, Wrocław, Poland**, v. 24, n. 13, 2019. DOI: 10.3390/molecules24132361.
- WORKMAN JR. J., WEYER L. Practical Guide to Interpretive Near-Infrared Spectroscopy, CRC Press, 2007
- WU, XIAO-FEI; ZHANG, MIN; LI, ZHONGQIN. Influence of infrared drying on the drying kinetics, bioactive compounds and flavor of *Cordyceps militaris*. **Lwt**, v. 111, p. 790-798, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.108>.
- XU, YAYUAN; XIAO, YADONG; LAGNIKA, CAMEL; LI, DAJING; LIU, CHUNQUAN; JIANG, NING; SONG, JIANGFENG; ZHANG, MIN. A comparative evaluation of nutritional properties, antioxidant capacity and physical characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* var. Capitata var L.) subjected to different drying methods. **Food Chemistry**, v. 309, p. 124935, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.06.002>.
- YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN, H. I. Mathematical modeling of thin- layer solar drying of sultana grapes. **Energy**, v. 26, p. 457-465, 2001.

YANO et al. Quantiation of carotenoids in raw and processed fruits in Japan. **Food Science and Techonology Research**, 11 (1), 13-18, 2005.

YAO, LONGYANG; FAN, LIUPING; DUAN, ZHENHUA. Effect of different pretreatments followed by hot-air and far-infrared drying on the bioactive compounds, physicochemical property and microstructure of mango slices. **Food Chemistry**, v. 305, p. 125477, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125477>.

YU, HONGWEI; LIU, HONGZHI; ERASMUS, SARA W.; ZHAO, SIMENG; WANG, QIANG; VAN RUTH, SASKIA M.. Rapid high-throughput determination of major components and amino acids in a single peanut kernel based on portable near-infrared spectroscopy combined with chemometrics. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 112956, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112956>.

ZIMMERMANN, C. M.; GUIMARÃES, O. M.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do Rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). **Quimica Nova**, v. 31, n. 7, p. 1727–1732, 2008.

ZOTARELLI, MARTA FERNANDA; PORCIUNCULA, BARBARA DANIELA ALMEIDA; LAURINDO, JOÃO BORGES. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 4, p.523-531, 2012

ZHOU, LINYAN; GUO, XIAONING; BI, JINFENG; YI, JIANYONG; CHEN, QINQIN; WU, XINYE; ZHOU, MO. Drying of Garlic Slices (*Allium Sativum*L.) and its Effect on Thiosulfinates, Total Phenolic Compounds and Antioxidant Activity During Infrared Drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. 1-11, 29 fev. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12734>

ZHU, YI; PAN, ZHONGLI; MCHUGH, TARA H.; BARRETT, DIANE M.. Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 1, p. 8-16, mar. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.021>.