

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIA SOUZA SANTOS

**ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DO
ESPINAFRE (*Tetragonia tetragonioides*) PARA OBTENÇÃO DE FARINHA**

FRANCISCO BELTRÃO

2024

JULIA SOUZA SANTOS

**ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DO
ESPINAFRE (*Tetragonia tetragonioides*) PARA OBTENÇÃO DE FARINHA**

**Experimental study and mathematical modeling of drying spinach (*Tetragonia
tetragonioides*) to obtain flour**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a Dr^a Camila Nicola Boeri Di Domenico.

Coorientador: Prof^o Dr Ronan Carlos Colombo.

FRANCISCO BELTRÃO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JULIA SOUZA SANTOS

**ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DO
ESPINAFRE (*Tetragonia tetragonioides*) PARA OBTENÇÃO DE FARINHA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos, Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/junho/2024

Camila Nicola Boeri Di Domenico
Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ronan Carlos Colombo
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maria Helene Giovanetti Canteri
Doutorado em Tecnologia de Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**FRANCISCO BELTRÃO
2024**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por todo o incentivo apesar da ausência física. Especialmente à minha mãe, Márcia, pela paciência e companheirismo e meu pai Jailson, que mesmo não estando mais aqui tenho certeza de que me apoiaria no que estivesse no seu alcance.

Aos meus irmãos, Augusto, Livia e Geovane por todo apoio.

Aos meus amigos que se tornaram família e tornaram esse curso mais leve.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Camila Nicola Boeri Di Domenico, por acreditar no meu potencial.

Ao meu coorientador Prof.^o Dr. Ronan Carlos Colombo, por ter me adotado no meio do trabalho e pelo suporte na sua realização.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

É crescente o desperdício de hortaliças devido à sua alta perecibilidade, com isso uma das alternativas é submeter estes produtos ao processo de secagem, um método utilizado como forma de conservação de alimentos, sendo uma das operações unitárias mais antigas. Para este processo, uma das ferramentas é a utilização de secadores, equipamentos que utilizam a transferência de calor para diminuir a água livre no alimento, tornando-o mais seguro tanto a ataques de microrganismos quanto para aumentar a sua durabilidade. Neste sentido, este estudo teve por objetivo secar ramos de espinafre (*Tetragonia tetragonioides*) a fim de transformá-lo em farinha para maior aproveitamento, avaliando se a secagem altera a quantidade de compostos fenólicos do produto *in natura*. Concomitantemente, realizou-se análises de absorção e solubilidade dessa farinha, e modelagem matemática do processo, visando obter informações para futuras simulações. Os experimentos foram conduzidos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Com base nos resultados alcançados nesta pesquisa, foi viável notar que a perda de umidade seguiu o padrão de secagem de folhas estabelecido teoricamente, onde se tem uma perda de umidade mais rápida no início do processo. Além disso, na temperatura mais alta, 70 °C, foram obtidos melhores resultados em relação aos compostos fenólicos pela secagem ter ocorrido mais rapidamente. O modelo de Henderson e Pabis Modificado representou melhor o ajuste da curva de secagem dos ramos de espinafre, com coeficiente de determinação (R^2) mais próximos do esperado, erro médio relativo (P) e estimado (SE) menores. A farinha obtida na temperatura de 70 °C também apresentou melhor índice de absorção de água (IAA) e esteve dentro dos maiores índices de solubilidade em água (ISA) mesmo ambos abaixo do padrão estipulado, mostrando interferência da temperatura no produto. Nesta condição, a pesquisa atual tem a condição de auxiliar na aplicação do método de secagem dos ramos de espinafre tornando viável seu emprego.

Palavras-chave: desidratação; curva de secagem; modelos não lineares; hortaliça.

ABSTRACT

Vegetable waste is increasing due to its high perishability, so one of the alternatives is to subject these products to the drying process, a method used as a form of food preservation, being one of the oldest unitary operations. For this process, one of the tools is the use of dryers, equipment that uses heat transfer to reduce the free water in the food, making it safer both from attacks by microorganisms and increasing its durability. In this sense, this study aimed to dry branches of spinach (*Tetragonia tetragonioides*) in order to transform it into flour for greater use, evaluating whether drying changes the amount of phenolic compounds in the natural product. At the same time, analyzes of the absorption and solubility of this flour were carried out, and mathematical modeling of the process was carried out, aiming to obtain information for future simulations. The experiments were carried out at temperatures of 50, 60 and 70 °C. Based on the results achieved in this research, it was feasible to note that the moisture loss followed the theoretically established leaf drying pattern, where there is a faster moisture loss at the beginning of the process. Furthermore, at the highest temperature, 70 °C, better results were obtained in relation to phenolic compounds as drying occurred more quickly. The Modified Henderson and Pabis model better represented the adjustment of the drying curve of spinach branches, with a coefficient of determination (R^2) closer to expected, mean relative error (P) and estimated error (SE) lower. The flour obtained at a temperature of 70 °C also presented a better water absorption index (IAA) and was within the highest water solubility indexes (ISA) even though both were below the stipulated standard, showing temperature interference in the product. In this condition, current research is able to assist in the application of the method of drying spinach branches, making its use viable

Keywords: dehydration; drying curve; non-linear models; vegetables.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Folha de espinafre sem dano	22
Figura 2 - Ramos de espinafre dispostos na tela e na bandeja.....	23
Figura 3 - Amostras para umidade inicial	24
Figura 4 - Moedor de facas utilizado	25
Figura 5 - Perda de massa dos ramos de espinafre nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C	30
Figura 6 - Razão de umidade do espinafre nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C	31
Figura 7 - Farinhas obtidas na temperatura de 50, 60 e 70 °C, respectivamente	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de regressão não-linear utilizados para prever a secagem de vegetais	28
Tabela 2 - Teores de umidades inicial (U_0) e final (U_f) médias do espinafre com o tempo de secagem e após secagem em três temperaturas	29
Tabela 3 - Resultado das análises estatísticas da secagem do espinafre	32
Tabela 4 - Teor de compostos fenólicos totais (mg de equivalente de ácido gálico por/ g de folha ou g de farinha) determinados em ramos de espinafres <i>in natura</i> e secos, nas temperaturas de 50, 60, 70 °C	33
Tabela 5 - Dados experimentais da secagem dos ramos de espinafre	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Espinafre (<i>Tetragonia tetragonioides</i>)	15
2.1.1	Características botânicas	16
2.1.2	Consumo e características nutricionais	16
2.2	Processo de secagem	17
2.2.1	Tipos de secagem	18
2.2.2	Características da secagem convectiva	18
2.3	Modelagem matemática	19
2.3.1	Modelos matemáticos	20
2.3.2	Aplicações de modelos matemáticos na secagem de plantas	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Preparo das amostras	22
3.2	Determinação da umidade inicial e final do produto	23
3.3	Secagem do espinafre	24
3.4	Extrato das folhas <i>in natura</i> e desidratadas	25
3.5	Determinação da umidade instantânea	26
3.6	Caracterização dos compostos fenólicos	26
3.7	Índice de absorção em água (IAA)	26
3.8	Índice de solubilidade em água (ISA)	27
3.9	Avaliação dos modelos matemáticos e adimensionalização	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	Teor de umidade inicial e final	29
4.2	Perda de massa no processo de secagem	30
4.3	Adimensionalização da umidade instantânea	31
4.4	Ajustes dos modelos à curva de secagem	32
4.5	Compostos fenólicos	33
4.6	Avaliação física da farinha	34
4.6.1	Índice de absorção em água	34

4.6.2	Índice de solubilidade em água	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	38
	Apêndice A- Dados experimentais da secagem dos ramos de espinafre (<i>Tetragonia tetragonioides</i>)	48

1 INTRODUÇÃO

Boa parte do mercado brasileiro de hortaliças é abastecido pela agricultura familiar. Segundo o Censo Agropecuário (2017), a produção de hortaliças no Brasil alcançou o valor de 30,5 milhões de toneladas com 1,6 milhão de hectares cultivados, sendo a região Sul a maior produtora e, mesmo com uma crescente na produção, a média de consumo no país é muito inferior em comparação com outros locais. Em consulta feita com 9 mil brasileiros, Rocha (2023) mostrou que o consumo diário de verduras e legumes entre os brasileiros adultos fica em média de 45,5% e, em complemento, Boteon (2021) fala sobre a baixa disponibilidade, sazonalidade e alta perecibilidade de hortaliças, o que influencia negativamente na alimentação brasileira e na consistência do consumo ao longo do ano.

Tetragonia tetragonioides, ou espinafre da Nova Zelândia, é uma hortaliça folhosa da família Aizoaceae, muito comum em climas tropicais e subtropicais, sendo que a espécie encontrada no Brasil se diferencia botanicamente da que é encontrada em climas frios, como na Europa. Segundo McNamee (2023), o espinafre é fonte de nutrientes essenciais e quando há sua adição na dieta humana ele contribui no controle de algumas doenças por ser associado a hábitos saudáveis.

De acordo com Vilela e Luengo (2022), a área estimada de plantio de hortaliças folhosas no Brasil é em torno de 174.061 hectares e o espinafre corresponde a 1,0%, sendo a produção total de mais de 1.317,6 toneladas com o espinafre correspondendo a 3,1% dessa produção. Destaca-se a característica de o espinafre encontrado no Brasil possuir alta fertilidade e bastante resistência a pragas e doenças comuns em hortaliças.

O tempo de colheita do espinafre é de cerca de 80 dias após o seu plantio, fazendo com que a sua disponibilidade seja alta. Entretanto, percebe-se que o desperdício de hortaliças folhosas vem sendo crescente, como destaca a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO (2021), declarando que boa parte dos alimentos destinados ao consumo são descartados por excesso de produção e manuseio inadequado. A ABIA - Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (2023) indica que o país está entre os dez que mais desperdiçam alimentos e mais de R\$ 1,3 bilhões em frutas, legumes e verduras vão para o lixo, além do descarte adulto médio brasileiro ser de 60 kg. Por outro lado, há um aumento no interesse da população por uma alimentação mais balanceada.

A secagem, por diminuir o teor de água do alimento, é um método para aumentar a vida de prateleira dos produtos e reduzir o desperdício. É uma operação unitária largamente empregada nos processos de conservação de frutas e hortaliças, pois os produtos secos apresentam estabilidade durante o armazenamento à temperatura ambiente, segurança microbiológica, praticidade de consumo, capacidade de reconstituição, volume e massa reduzidos em relação ao produto *in natura*, além de outras vantagens (Fellows, 2006).

O processo de secagem pode ser descrito por diferentes tipos de modelos, ajustados aos dados experimentais obtidos. A modelagem matemática possibilita realizar simulações de como o tempo de secagem pode se modificar quando mudadas as condições de temperatura e umidade inicial do produto. Na literatura, encontram-se diversos trabalhos com estudos de modelagem matemática para processos de secagem de produtos similares ao espinafre. Goneli *et al.* (2014) em sua pesquisa sobre as folhas de erva baleeira (*Cordia verbenácea*), ajustaram a secagem em diferentes modelos matemáticos para diferentes temperaturas e concluíram qual apresentou melhor ajuste. Alves (2017) modelou a planta *Hyptis suaveolens*, conhecida como cheirosa, em três variações de temperatura para também avaliar o melhor ajuste e melhor característica após desidratadas.

Os alimentos desidratados estão com o mercado crescente no mundo todo. A Inteligente (2023) expõe dados de previsão de que o setor de alimentos desidratados alcançasse um valor de mercado de US\$ 44,11 bilhões, com projeção de crescimento a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,77%, atingindo a marca de US\$ 61,20 bilhões até 2028. Segundo Frootiva (2022) uma das formas de consumo de vegetais e hortaliças desidratados mais utilizada pela indústria é no seu formato em pó visto que esse formato mantém a maioria das suas vitaminas e minerais *in natura*.

A produção de farinhas vem se destacando na indústria brasileira de reaproveitamento de vegetais não conformes, estes vegetais por serem produtos altamente perecíveis são apontados como sendo as maiores perdas em toda uma cadeia produtiva (Lopes *et al.*, 2011).

Neste sentido, esse estudo dá ênfase para o processo de secagem dos ramos e modelagem matemática deste processo; bem como à transformação do produto desidratado em farinha. Dentre os objetivos, destaca-se a avaliação dos compostos fenólicos e solubilidade das farinhas de espinafre, após as diferentes temperaturas de

secagem. É importante ressaltar que não há trabalhos com essa abordagem sendo desenvolvidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, bem como na literatura específica da área, o que pode encorajar outros estudantes a explorarem mais o tema.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estabelecer as condições ideais do processo de secagem de ramos de espinafre para obtenção de farinha, minimizando as perdas das suas propriedades nutricionais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Obter experimentalmente as curvas de secagem dos ramos de espinafre entre 50 e 70 °C, utilizando estufa de convecção forçada;
- Analisar os dados experimentais para identificar padrões e tendências;
- Quantificar os compostos fenólicos do espinafre em sua forma fresca e seca (farinha vegetal);
- Avaliar a absorção de água e a solubilidade dessa farinha vegetal;
- Modelar o processo de secagem dos ramos de espinafre nas temperaturas analisadas, através de modelos empíricos e semi-empíricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Espinafre (*Tetragonia tetragonioides*)

O espinafre (*Tetragonia tetragonioides*) comumente conhecido é uma hortaliça rasteira de textura semi-herbácea da família *Aizoaceae*, muito confundida com o espinafre-verdadeiro, *Spinacia oleracea*, consumido em outros países. A diferença entre elas, além das condições de plantio, é o tamanho das suas folhas, sendo menor que o espinafre-verdadeiro com tons de verde mais escuro.

Os ramos de espinafre são habitualmente utilizados de forma crua ou cozida, bem como em saladas e, dentre as suas utilizações, essa hortaliça contribui para o enriquecimento da dieta em função do seu valor nutricional. Dentre os constituintes do espinafre se dá ênfase à sua baixa caloria, ficando em cerca de 16 kcal a cada 100 g, segundo a TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimento, Nepa (2011), contendo também, proteínas, sais minerais, especialmente cálcio e ferro, vitaminas do complexo A, B e C e fibras (Zanatta; Schlabit; Ethur, 2010).

O conhecimento sobre a composição química e nutricional de hortaliças é limitado, sendo de extrema importância ter dados sobre poder nutritivo de hortaliças como o espinafre. Segundo McNamee (2023) o espinafre é conhecido como um vegetal de coloração verde intensa o que é uma característica da sua alta quantidade de ferro, tendo cerca de 0,6 mg a cada 100 g, além de ser fonte de vitaminas e minerais.

Contudo, algumas técnicas de processamento térmico alteram a composição nutricional dos alimentos, por conta da temperatura e do tempo de exposição. A Nepa (2011) apresenta valores para o espinafre refogado mostrando um aumento significativo de calorias, de 16 kcal para 67 kcal para cada 100 g, aumentando o teor de proteína, de 2 g para 3 g, e seu teor de ferro de 0,6 mg para 1,1 mg.

Em estudos, Furtado (2021) relata que a maioria dos processos de conservação de alimentos conta com a aplicação ou a remoção de calor, sendo importante para a destruição de microrganismos deteriorantes, mas em paralelo pode causar a redução de vitaminas e proteínas.

2.1.1 Características botânicas

A espécie *Tetragonia tetragonioides* apresenta características de florescimento no verão, sendo chamada de “planta de dia longo”, por ser uma angiosperma que mesmo quando submetida a curtos períodos de escuro, floresce. Sua temperatura ótima de cultivo é de 21 °C, sendo ciclo entre o plantio e a colheita de cerca de 70 dias. A colheita é realizada mediante o corte dos ramos mais desenvolvidos de modo a deixar sempre uma haste para que o desenvolvimento prossiga (Grubben; Denton, 2004).

Seu cultivo no Brasil ainda é realizado por pequenos agricultores, Clemente (2015) relata sobre o destaque do cultivo de hortaliças, sua grande importância no agronegócio brasileiro e como a maioria das propriedades produtoras são consideradas de base familiar. O Brasil não se destaca suficientemente na produção mundial de hortaliças folhosas, não aparecendo na lista dos produtores mundiais, e a sua produção de espinafre rende em torno de 50.407 mil reais, com 17.413 toneladas (IBGE, 2017).

Em comparação, Da Silva (2022) destaca que a hortaliça folhosa mais consumida no mundo é a alface, onde se destaca a China com cerca de 52% da produção mundial, correspondendo a 23 milhões de toneladas. Mesmo não entrando no *ranking* mundial, o cultivo do espinafre no Brasil corresponde a 1% e a produção 3,1%.

2.1.2 Consumo e características nutricionais

O consumo *per capita* do Brasil é estabelecido pela Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontando que o consumo de hortaliças em domicílios fica em torno de 22,10 kg por pessoa (IBGE, 2020). Estudos de Canella *et al.* (2018) apontam que a aquisição de hortaliças aumenta de acordo com o aumento da renda da região; então as que adquirem mais hortaliças são as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

O consumo também se diferencia dos norte-americanos e noruegueses. Myhre *et al.* (2015) e Satia *et al.* (2002) apresentam que o consumo desses países mais frios se dá no horário do jantar e o brasileiro na hora do almoço entre 12 horas e

14 horas. De acordo com Filgueira (2003) há pouca conscientização sobre o valor nutricional das hortaliças, e isso causa a sua baixa ingestão.

Costuma haver falta de apreço em relação ao consumo do espinafre, principalmente por paladares mais sensíveis ao amargor, alcalinidade e aos paladares infantis. Esse baixo consumo pode estar associado a formação de dimetilsulfito, metanotiol, metional e 2-acetil-1-pirrolina que surgem quando as folhas são cozidas, método mais utilizado de consumo da folha, após consumo *in natura* e sua utilização na formulação de massas (Munro; Small, 1997).

A composição nutricional do espinafre varia de acordo com as condições de plantio e métodos utilizados para determinar seus componentes, além do ácido fólico com presença confirmada na folha no ano de 1940 (Zimmermann; Chaouki; Hurrel, 2005).

Segundo Azevedo (2012) o espinafre tem seus benefícios ao organismo associado a ser rico em compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides, tocofenóis e antioxidantes. Os compostos fenólicos podem ser encontrados em plantas, sendo estruturas químicas que tornam um alimento antioxidante, com atividade associada à inibição de alguns cânceres, quantificados por métodos espectrofotométricos (Angelo; Jorge, 2006).

2.2 Processo de secagem

A secagem é um importante método para o armazenamento e preservação de algumas folhas garantindo sua maior durabilidade. Conforme Goneli *et al.* (2014), a secagem é um processo que engloba a troca ou transferência de calor e massa, entre o ar utilizado e o item a ser desidratado. Durante todo o processo, ocorre o aumento da temperatura que resulta em um acréscimo da pressão parcial de vapor presente no produto a ser desidratado, gerando assim, uma diminuição do seu conteúdo de água em função do tempo de secagem.

Durante esse processo de transferência de calor, o alimento só para de ter troca de calor com o meio quando se atinge um equilíbrio, após o qual não há mais mudanças significativas na temperatura da amostra. Já na transferência de massa o processo só para quando há um equilíbrio entre as pressões de vapor, visto que a umidade do alimento será transferida para o ambiente.

2.2.1 Tipos de secagem

Existem vários processos de secagem aplicados a alimentos, mas somente podem ocorrer de duas maneiras, natural ou artificial. A secagem de alimentos é um método utilizado desde a antiguidade, sendo que os secadores solares, os primeiros a serem utilizados, são simples e de baixo custo quando comparados aos secadores convencionais que demandam da energia elétrica para seu funcionamento (Saleh; Badran, 2009).

Segundo Cornejo, Nogueira e Wilberg (2021) a secagem solar, ou secagem natural, acontece por meio da aplicação direta ou indireta da luz solar e da circulação natural do ar a fim da remoção da umidade dos alimentos, sendo um ponto importante dessa secagem é condição climática, por não ter controle de temperatura constante o sol e a radiação influem totalmente no processo.

A secagem convectiva é um método de secagem artificial que se difere do natural por consistir na convecção de ar forçada aplicada ao alimento, segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec, 2003). Os equipamentos utilizados oferecem controle de umidade, temperatura e velocidade do ar que circula no processo, agilizando a questão do tempo e obtendo produtos de maior qualidade.

A produção de alimentos secos em larga escala é frequentemente realizada pela utilização da técnica de secagem convectiva (Okos *et al.*, 2013). A secagem artificial pode ser dividida em: convecção forçada, leiteo fluidizado, pulverização, leiteo de jorro, túnel de ar quente, micro-ondas e raios infravermelhos; sendo a convectiva, a mais utilizada para alimentos por conta da uniformidade na secagem e redução de contaminação.

2.2.2 Características da secagem convectiva

A secagem convectiva é uma forma eficaz de aumentar a vida útil dos alimentos, com ela, promovendo a diminuição das dimensões do alimento pela redução da sua umidade sob temperatura controlada, por meio do uso do ar quente, produzido artificialmente, em contato com a superfície do alimento, com condução do calor e provocando a evaporação da água contida nele, é uma das operações unitárias mais antigas de que se tem conhecimento, como afirma Fellows (2006). A secagem

artificial é muito aplicada em produtos de origem vegetal e ainda mais utilizada na área de alimentos, segundo Gava, Silva e Frias (2009).

A temperatura dentro do secador é um dos fatores que promove a secagem do alimento, com a evaporação da água da superfície. Em folhas esse fator é significativo, considerando que ele pode degradar alguns atributos nutricionais, visto que as plantas são materiais sensíveis e as temperaturas às quais são submetidas podem causar alterações na quantidade e qualidade dos princípios ativos (Santos *et al.*, 2020).

Parâmetros como o escurecimento das folhas e a perda das características da tonalidade verde escuro vibrante são comumente observadas na secagem de vegetais. Streit (2005) afirma que essas alterações são atribuídas à degradação dos pigmentos de clorofila causadas por reações enzimáticas e não enzimáticas.

Na literatura, encontram-se diversos trabalhos de secagem artificial de folhas, conforme descrito a seguir. Lima-Corrêa *et al.* (2017) avaliaram a secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum*) sob as temperaturas de 30 a 60 °C e Costa *et al.* (2014) investigaram a secagem de folhas de hortelã (*Menta x villosa H.*) com os ensaios variando de 36 a 64 °C. De acordo com estes autores, quando é feita a secagem em temperaturas mais altas, pode-se comprometer as suas características nutricionais além de poder provocar alterações indesejáveis na aparência, cor e no odor do produto, impedindo sua comercialização (Baritoux *et al.*, 1992).

Martinazzo *et al.* (2010) trabalharam com a secagem artificial de bandejas a gás de folhas de capim-limão nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C sendo as amostras padronizadas para se obter maior uniformidade na secagem. Radünz *et al.* (2010) mostraram quais modelos se adequavam ao processo de secagem de sálvia nas temperaturas de 40 a 90 °C.

2.3 Modelagem matemática

A modelagem matemática trata-se de um processo de representação de problemas reais em termos matemáticos, com o objetivo de encontrar soluções para tais problemas (Bertone; Bassanezi; Jafelice, 2014). Por ser uma área que engloba diversas disciplinas, a modelagem é aplicada em diversos trabalhos a fim de representar, analisar e resolver dados experimentais. Para o processo de secagem, é

possível utilizar modelagem matemática para prever o comportamento de um produto com relação a perda de umidade no decorrer do tempo (Nascimento *et al.*, 2018).

2.3.1 Modelos matemáticos

Modelos matemáticos instigam a existência de uma relação entre a matemática e o “mundo real”, colocando-o como um modelo aproximado da realidade. De acordo com Chapra e Canale (2008), os modelos matemáticos são fórmulas ou equações que explicam situações em sistema em termos matemáticos, por meio de um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam o objeto estudado (Bassanezi, 2011).

2.3.2 Aplicações de modelos matemáticos na secagem de plantas

Segundo Benali e Amazouz (2006), os alimentos são termossensíveis, possíveis de serem danificados quando expostos ao calor elevado podem ser danificados, fazendo com que suas características deles na secagem sejam diferentes para cada tipo de alimento.

Os estudos relacionados aos modelos matemáticos circulam em torno dos sistemas de secagem, visto que eles auxiliam na determinação e otimização da perda de umidade. Assim, tornam-se ferramentas úteis para buscar uma alta eficiência durante a desidratação, sem deixar de preservar as características das folhas (Radünz *et al.*, 2014).

Para prever o processo de secagem em diversos tipos de produtos, incluindo plantas, podem ser utilizados os modelos empíricos, semi-empíricos e fenomenológicos (Gasparin; Christ; Coelho, 2017). Os modelos fenomenológicos são classificados como teóricos e se baseiam nas leis de conservação, os empíricos observam diretamente o comportamento do sistema, obtido pela experimentação, e os semi-empíricos são a mistura da teoria e equações empíricas. Os modelos mais utilizados são os empíricos que apresentam relação direta da umidade e tempo de secagem, sem dar muitos detalhes sobre processos que ocorrem na secagem (Goneli *et al.*, 2014).

Alguns modelos são mais utilizados para explicar a secagem de plantas, como o modelo de Wang e Sing (1978), que contém apenas uma variável independente, e permitiu explicar os dados da análise de Silva (2022) sobre a secagem de berinjela, que é um fruto com alta umidade e benéfico para a saúde humana, assim como muitas hortaliças. Já o modelo de Midilli e Kucuk (Lahsasni *et al.*, 2004) pôde descrever a cinética de secagem de folhas de endro e salsa de Doymaz, Tugrul e Pala (2006) e também se adequou a secagem com variação de temperatura das folhas de erva baleeira, nos estudos de Goneli *et al.* (2014). Martinazzo *et al.* (2007) apresentaram sobre secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf em camada delgada e a adequou aos modelos exponenciais, Page, Page modificado, Thompson, difusão oito termos, Henderson e Pabis, logarítmico, dois termos, exponencial de dois termos, Wang e Singh, Midilli *et al.* e o modelo de Midilli *et al.* foi o que melhor se ajustou. Barbosa *et al.* (2007) utilizaram as folhas de erva-cidreira-brasileira e os modelos de Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Midilli *et al.*, Page e Wang e Singh, sendo que o modelo de Page e Midilli *et al.* representou melhor a secagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Preparo das amostras

O espinafre foi adquirido de um produtor de vegetais no município de Francisco Beltrão-PR nos meses de abril e maio, onde as temperaturas mínimas se mantiveram acima de 10 °C e as máximas abaixo de 34 °C. A coleta dos ramos foi realizada no período da manhã a fim de evitar aumento significativo da umidade.

Figura 1 – Folha de espinafre sem dano



Fonte: Aatoria Própria (2024)

Após coletadas e selecionadas apenas os ramos sem danos físicos foram escolhidos, como mostra a Figura 1. As amostras foram levadas ao laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Francisco Beltrão-PR. As folhas passaram pela higienização apenas com água corrente. Após a separação, as amostras foram separadas em telas e colocadas sobre bandejas, conforme ilustrado na Figura 2, para que o ar pudesse entrar contato com todas as suas faces para maior uniformidade na secagem.

Figura 2 - Ramos de espinafre dispostos na tela e na bandeja



Fonte: Autoria Própria (2024)

3.2 Determinação da umidade inicial e final do produto

Para a determinação da umidade inicial dos ramos de espinafre, foi utilizado o método de estufa 012/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa a 105 ± 1 °C (Instituto Adolfo Lutz, 2008) por 24 h, sendo realizado em triplicata e cada ensaio com cerca de 5 g, mostrado na Figura 3. As amostras foram secas em placas de Petri, anotando as massas iniciais e a massa da placa, que foi tarada, considerando a massa final a diferença entre a massa e a placa. Após 24 h a umidade foi determinada pela Equação (1) (Instituto Adolfo Lutz, 2008):

$$U(\%) = \left(\frac{100 * m_f}{m_0} \right) \quad (1)$$

sendo m_0 e m_f as massas no início e fim da secagem, em gramas.

A determinação da umidade final foi feita da mesma forma, mas utilizando a massa obtida após a secagem, até o produto atingir umidade abaixo de 15%, retornando as amostras secas à estufa a 105 ± 1 °C por mais 24 h.

Figura 3 - Amostras para umidade inicial

Fonte: Aatoria Própria (2024)

3.3 Secagem do espinafre

A secagem foi realizada em estufa de convecção forçada, testando-se três temperaturas, 50, 60 e 70 °C, sendo a de 70 °C apenas um comparativo de menor tempo de secagem, a fim de acompanhar o comportamento do processo até atingir o fim da secagem.

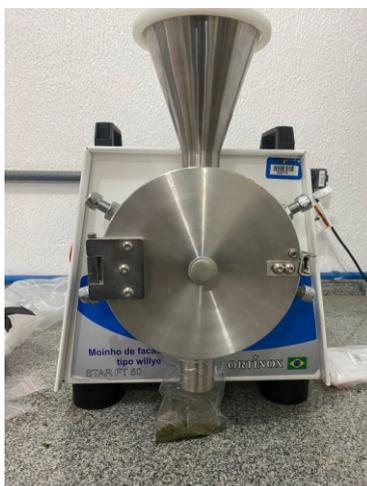
O teor de umidade da farinha foi acompanhado pela Equação (2) de acordo com as pesagens para notação da curva de secagem e monitorada para que se mantivesse abaixo de 15% por conta da Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005, da agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), que estabelece o limite máximo de umidade para farinha sendo 15% (Brasil, 2005).

$$m_f = m_i * \frac{(100 - U_i)}{(100 - U_f)} \quad (2)$$

em que m_f e m_i são a massa do produto antes e depois de seco, em gramas, e U_i a umidade inicial e U_f é a umidade que deseja ser alcançada.

As folhas do espinafre foram dispostas em bandejas teladas durante o processo de secagem e as amostras tiveram sua perda de peso monitoradas no intervalo de 10 minutos em 10 minutos na primeira hora e no tempo restante, realizadas em intervalos de 20 minutos em 20 minutos e 30 minutos em 30 minutos através em uma balança analítica Urano UA220, finalizando apenas quando a massa final atingia valores abaixo da umidade desejada. Após essa etapa, as amostras foram transferidas para o moedor de facas, Figura 4, para transformá-las em farinha.

Figura 4 - Moedor de facas utilizado



Fonte: Aatoria Própria (2024)

O delineamento experimental foi realizado com 3 temperaturas e 1 fluxo de ar fixo do secador, em um arranjo fatorial de 3 X 1, sendo cada experimento repetido em triplicata.

3.4 Extrato das folhas *in natura* e desidratadas

Para a determinação dos compostos fenólicos foram obtidos extratos etanólicos seguindo a metodologia proposta por Larrauri, Rupérez e SauraCalixto (1997) modificada. Em um shaker a 70 °C, amostras com cerca de 5 g de espinafre *in natura* e em pó adicionadas de 20 mL de etanol/água (50:50, v/v), foram colocadas em tubos falcon de 50 mL e homogeneizadas durante 1 hora nessa temperatura. Após esse processo, foram levados à centrifuga a 2500 rpm por 15 minutos, tendo seu sobrenadante removido e transferido para balões volumétricos de 100 mL. A amostra que ficou no tubo foi adicionada de 20 mL de acetona/água (70:30, v/v),

homogeneizadas a 35 °C por 1 hora e centrifugada por mais 15 minutos a 2500 rpm. Após esse processo, o segundo sobrenadante foi misturado ao primeiro e seu volume final foi aferido com água destilada até 100 mL. O extrato foi acondicionado fora da luz até o momento do seu uso.

3.5 Determinação da umidade instantânea

A umidade instantânea é uma unidade utilizada para realizar a modelagem matemática da perda de umidade do espinafre. Segundo Gollner-Reis (2019) esse teor será determinado em base úmida pela Equação (3):

$$U_i = U_0 + \frac{(U_f - U_0) * (m_i - m_0)}{m_f - m_0} \quad (3)$$

onde m_i representa, em gramas, o tempo que ela foi pesada, U_f e U_0 a umidade final e inicial, m_f e m_0 são as massas no início e no final do processo, em gramas.

3.6 Caracterização dos compostos fenólicos

A determinação dos compostos fenólicos foi realizada pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965) modificado, utilizando ácido gálico como padrão e para expressão de resultados. Foi transferido 2 mL do extrato etanólico, item 3.4, em um balão volumétrico de 100 mL com 60 mL de água destilada, 5 mL de Reagente Folin e após 8 minutos de repouso ocorreu a adição de 20mL de carbonato de sódio 20%, o volume do balão foi completado com água destilada e mantido fora do contato com a luz por 2 horas. Após as horas de descanso a absorbância foi medida em espectrofotômetro VIS Spectrophotometer da Kasuaki com comprimento de onda 725 nm.

3.7 Índice de absorção em água (IAA)

O índice de absorção em água (IAA) foi determinado pela metodologia de Santana (2005) modificada. Cerca de 0,5 g da farinha foi adicionada de 12 mL de água destilada a 50 °C e colocadas em tubos de centrifuga de 15 mL, previamente pesados, agitados em agitador vortéx e centrifugados a 2500 rpm por 10 minutos antes do

sobrenadante ser extraído. O sobrenadante é colocado em uma placa de Petri e reservado; sendo o tubo com a amostra hidratada é pesado em balança analítica. O índice de absorção é dado pela Equação (4) em gramas:

$$IAA = \frac{\text{massa da amostra hidratada}}{\text{massa da amostra seca}} \quad (4)$$

onde a massa hidratada é a que sobrou no tubo após a agitação e a centrifuga, em gramas, dividido pela amostra desidratada.

3.8 Índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado seguindo a metodologia de Santana (2005) modificada. Para esta análise, pesaram-se as placas de Petri, previamente, à adição do sobrenadante extraído na análise anterior. As placas de Petri contendo o sobrenadante foram pesadas e acondicionadas em estufa à 60 °C, por cerca de 15 horas, até massa constante. A solubilidade foi dada pela Equação (5), em porcentagem:

$$ISA = \frac{\text{massa após 15 horas de secagem}}{\text{massa inicial da amostra}} * 100 \quad (5)$$

3.9 Avaliação dos modelos matemáticos e adimensionalização

Após as análises de secagem, os teores de umidade foram convertidos em razões de umidade (RU), por meio da Equação (6). A razão de umidade é um parâmetro adimensional, em que a umidade de equilíbrio representa a umidade de equilíbrio do produto nas condições do processo de secagem, em % $g_{\text{água}}/100g$ (Gollner-Reis, 2019).

$$RU = \frac{U_i - U_f}{U_0 - U_f} \quad (6)$$

em que U_i é a umidade instantânea, U_f e U_0 a umidade final e inicial respectivamente obtida.

Os modelos testados, Equações (7) a (11), apresentados na Tabela 1, foram avaliados a fim de observar qual apresenta melhor ajuste aos dados com as variações de temperatura que utilizadas na secagem, por meio do *software* STATISTICA 7.0

(STATSOFT, 2008), onde t corresponde ao tempo, em minutos, a, b, k são constantes de secagem adimensionais e n é um parâmetro dos modelos, também adimensional.

Tabela 1 - Modelos de regressão não-linear utilizados para prever a secagem de vegetais

Modelos	Equação	Referência	
Wang e Sing	$RU = 1 + a.t + b.t^2$	Wang, Sing (1978)	(7)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a.e^{(-k.t)} + (1 + a).e^{(-k.a.t)}$	Madamba <i>et al.</i> (1996)	(8)
Newton	$RU = e^{(-k.t)}$	O'Callaghan <i>et al.</i> (1971)	(9)
Verna	$RU = a.e^{(-k.t)} + (1 + a).e^{(-k.t)}$	Corrêa <i>et al.</i> (2007)	(10)
Henderson e Pabis Modificado	$RU = a.e^{(-k.t)} + b.e^{(-k.t)} + c.e^{(-k.t)}$	Corrêa <i>et al.</i> (2007)	(11)

Fonte: Autoria Própria (2024)

Para validação e classificação dos modelos realizou-se a análise dos dados e se obteve o coeficiente de determinação (R^2), usualmente utilizado para avaliar o desempenho de modelos no comportamento da secagem porque penaliza modelos com maior número de estimadores, o que acarreta análises mais precisas (Montgomery *et al.*, 2012); a magnitude do erro médio relativo (P), Equação (12) e do erro médio estimado (SE), apresentado na Equação (13).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (13)$$

onde, Y é valor observado experimentalmente; \hat{Y} são os valores calculados pelo modelo; n o número de observações experimentais, e GLR os graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Teor de umidade inicial e final

Os ramos de espinafre só passaram por higienização com água corrente pois com base nos estudos de Lana (2021) não seria necessário passar por sanitização com solução de hipoclorito de sódio pois eles seriam destinados a um processo de secagem. Em seus estudos, Ornelas (2006) também cita esse método de higienização apenas com água corrente para que não ocorra um aumento significativo da umidade inicial, garantindo a da segurança microbiológica.

Os teores de umidade inicial foram obtidos a partir do método de estufa a 105 ± 1 °C sendo considerado o mesmo valor para todas as temperaturas em função da homogeneidade da amostra, como apresentado na Tabela 2.

As temperaturas foram testadas com base nos estudos de Radünz *et al.* (2002) que fez a secagem de folhas de alecrim pimenta (*Lippia sidoides* Cham.) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e Doymaz, Tugrul e Pala (2006) que avaliou o comportamento da secagem de folhas de menta (*Mentha spicata* L.) nas temperaturas de 35, 45, 55 e 60 °C. Os autores apontam que o aumento da temperatura reduz o tempo até o produto alcançar a umidade final desejada de 11% sem afetar os componentes.

Tabela 2 - Teores de umidades inicial (U_0) e final (U_f) médias do espinafre com o tempo de secagem e após secagem em três temperaturas

Temperatura (°C)	Tempo de secagem (minutos)	U_0 (%)	U_f (%)
50	660	92,32	10,62
60	630	92,32	10,93
70	300	92,32	12,74

Fonte: Autoria Própria (2024)

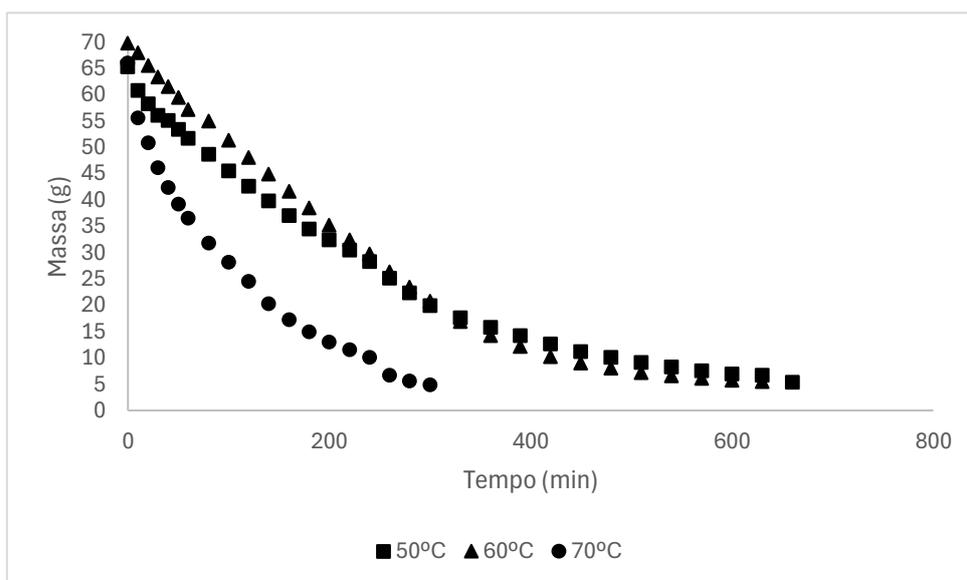
O valor encontrado para umidade inicial (U_0) ficou abaixo dos valores encontrados por Gomes *et al.* (2018) que obtiveram 3 valores médios de umidade para o espinafre, sendo eles $93,68 \pm 0,12$; $94,09 \pm 0,0$ e $93,06 \pm 0,01$ para os métodos de cultivo convencional, hidropônico e orgânico, mas se manteve dentro do encontrado por Amaro (2009) que estipula a umidade entre 88,92 e 94,51% e por Azevedo (2012) que chega em 92,36%.

Para a transformação do desidratado em pó, foi seguido a Resolução RDC n° 263 de 22 de setembro de 2005, da agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), que estabelece o limite máximo de umidade para farinha sendo 15% (Brasil, 2005). A umidade final (u_0) nas três temperaturas se manteve dentro do estipulado na RDC 263/2005, mas acima do desejado para armazenagem segura, segundo Goneli *et al.* (2014), que é de 10%. Desse modo, o tempo de secagem deveria ter sido maior para garantir a conservação.

4.2 Perda de massa no processo de secagem

A secagem do espinafre, em todas as temperaturas testadas, como mostrada na Figura 5, apresentou comportamento similar ao descrito por Santos *et al.* (2017) na secagem da cebolinha (*Allium fistulosum* L). A discrepância entre a massa final e inicial se dá pela umidade elevada do espinafre, associada à água livre no alimento, sendo facilmente removida. Em estudos, Cano-Chauca *et al.* (2004) relatam que a queda rápida de umidade, nesse período, se deve à interação da água com a parte polar das moléculas que constituem o alimento.

Figura 5 - Perda de massa dos ramos de espinafre nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C



Fonte: Autoria própria (2024)

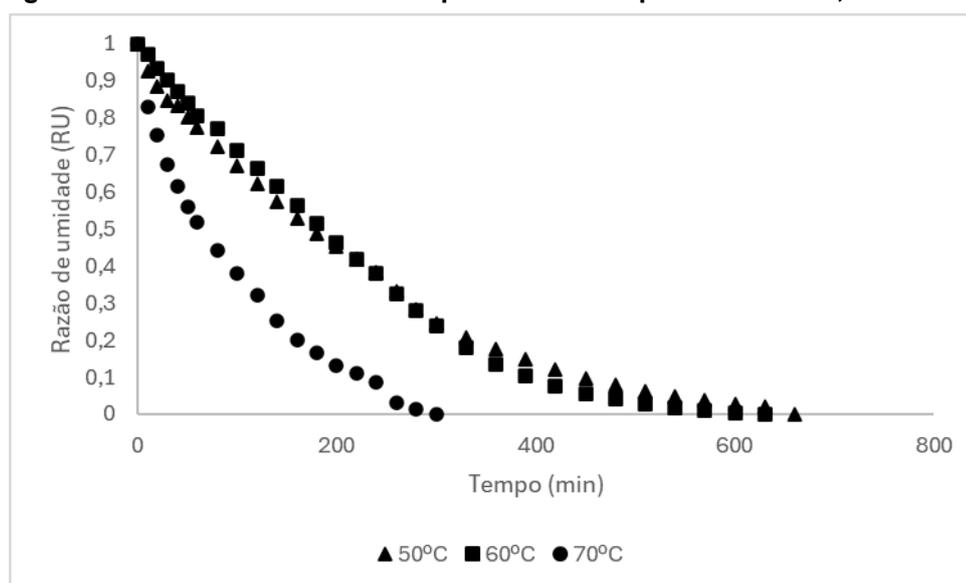
Com base nos dados obtidos, pode ser observado que as temperaturas de 50 °C e 60 °C não apresentaram grande diferença no tempo de secagem, levando em torno de 11 e 10,5 horas, respectivamente. Porém, na temperatura de 70 °C os ramos atingiram a umidade desejada em 5 horas. Em estudos com o espinafre, Lemos *et al.* (2016) reportam que a perda de água é diretamente proporcional a temperatura e que acontece com mais intensidade nas primeiras horas de secagem, estabilizando a massa em menor tempo. Esta interferência corrobora as curvas apresentadas na Figura 5, com a diferença de tempo de secagem para a maior temperatura. Contudo, em condições de temperaturas elevadas pode ocorrer a degradação e a oxidação de nutrientes da planta (Tonon; Baroni; Hubinger, 2006).

4.3 Adimensionalização da umidade instantânea

Com os dados da curva de secagem e da perda de massa após esse processo determinou-se a umidade instantânea média dos ramos de espinafre (Apêndice A), pela Equação (3) e, posteriormente, feita a adimensionalização dos dados para fins de comparação entre eles e modelagem matemática.

Na Figura 6, está apresentada a curva de secagem com a razão de umidade média, das diferentes temperaturas, em função tempo.

Figura 6 - Razão de umidade do espinafre nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C



Fonte: Autoria Própria (2024)

Como observado, na temperatura de 70 °C a razão de umidade chegou próxima a zero em menor período, característica também observada por Lemos *et al.* (2016), na secagem de espinafre.

4.4 Ajustes dos modelos à curva de secagem

O ajuste da curva de secagem dos ramos de espinafre ocorreu pelo algoritmo de Levenberg-Marquardt, sendo empregados aos modelos descritos na Tabela 1 que foram encontrados na literatura voltada à secagem de plantas. Os modelos foram avaliados a partir do R^2 , coeficiente de determinação, adicionado do erro médio relativo, P , e estimado, SE , como mostra a Tabela 3.

Com base nos estudos de Mohapatra e Rao (2005), para um ajuste ser considerado bom, o modelo deve apresentar erro médio relativo inferior a 10% e o erro médio estimado se manter baixo, assim como o valor do coeficiente de determinação se manter o mais próximo possível de 1 para garantir seu ajuste.

Os ajustes dos cinco modelos obtiveram coeficiente de determinação superiores a 97%, sendo classificados como uma ótima representação do processo de secagem segundo Kashaninejad *et al.* (2007).

Na Tabela 3, estão destacadas (em negrito) para cada modelo, as temperaturas em que os modelos testados melhor se ajustaram, sendo a temperatura de 60 °C e 70 °C mais próximas do coeficiente de determinação 1 e com erro médio mais baixos.

Tabela 3 - Resultado das análises estatísticas da secagem do espinafre

Modelo	T (°C)	R^2	P (%)	SE (decimal)
Wang e Sing	50	0,9938	7,13	0,05
	60	0,9982	1,55	0,01
	70	0,9516	31,95	0,10
Exponencial de Dois Termos	50	0,9892	5,83	0,04
	60	0,9755	7,33	0,05
	70	0,9858	12,73	0,04
Newton	50	0,9892	5,17	0,03
	60	0,9718	1,96	0,01

	70	0,9862	11,28	0,03
	50	0,9894	5,80	0,04
Verna	60	0,9779	9,18	0,06
	70	0,9910	4,56	0,01
Henderson e	50	0,9894	5,17	0,03
Pabis	60	0,9779	9,19	0,06
Modificado	70	0,9910	4,56	0,01

Fonte: Autorial Própria (2024)

Como pode ser observado na Tabela 3, a maioria dos modelos apresentou erro médio relativo (P) acima de 10%, os tornando inapropriados para descrever a curva de secagem segundo (Mohapatra; Rao, 2005). Dessa forma, o modelo de Verna e Henderson e Pabis Modificado foi o único com valores abaixo do estipulado, sendo o de Henderson e Pabis o que apresentou melhores valores tanto de P quanto de SE para todas as temperaturas avaliadas.

Nessa circunstância, pode-se afirmar que o modelo de Henderson e Pabis Modificado representa melhor a secagem dos ramos de espinafre, dentre os modelos avaliados, sendo obtido valores de coeficiente de determinação de 0,9894, 0,9779 e 0,9910, erro médio relativo de 5,17%, 9,19% e 4,56% e erro médio estimado de 0,03, 0,06 e 0,01 para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

4.5 Compostos fenólicos

Na Tabela 4 pode-se observar a maior presença de compostos fenólicos na farinha que foi seca a 70 °C, sendo 197,7% superior à farinha seca a 50 °C. Contudo, os valores para o produto *in natura* não foram possíveis de serem detectados.

Tabela 4 - Teor de compostos fenólicos totais (mg de equivalente de ácido gálico por/ g de folha ou g de farinha) determinados em ramos de espinafres *in natura* e secos, nas temperaturas de 50, 60, 70 °C

Amostra	mg EAG. g ⁻¹	mg EAG. 100g ⁻¹
<i>In natura</i>	Não detectado	
50°C	0,9328	93,28
60°C	0,5777	57,77
70°C	1,8442	184,428

Fonte: Autorial Própria (2024)

A não detecção de compostos na amostra *in natura* pode ser justificada pela quantidade utilizada para a obtenção do extrato, cerca de 5 gramas, e pela alta quantidade de água presente. Bunea *et al.* (2008) chegou em valores de $2,08 \text{ mg EAG. g}^{-1}$ para o espinafre *in natura* e Gomes *et al.* (2018) nos seus estudos baseados na determinação de compostos bioativos em espinafres de diferentes sistemas de cultivos, os compostos fenólicos ficaram entre $320,52 \pm 10,44$ e $947,56 \pm 10,44 \text{ mg EAG. } 100\text{g}^{-1}$ mostrando a influência da terra de cultivo.

Os valores de compostos fenólicos obtidos após a secagem estão abaixo do encontrado na literatura, provavelmente por conta do tempo de secagem ter sido longo, notado nas temperaturas mais baixas, e os fenólicos serem compostos que se degradam com muita facilidade. Em estudos sobre o processamento mínimo de espinafre, Soares *et al.* (2016), verificaram valores de $0,97 \text{ mg EAG. g}^{-1}$ de compostos fenólicos totais para espinafres armazenados por 15 dias, mostrando a degradação desse composto.

4.6 Avaliação física da farinha

A avaliação física da farinha foi realizada por meio das suas propriedades higroscópicas que dependem exclusivamente de particularidades do alimento, como sua composição química, porosidade, temperatura do processo, entre outras, assim influenciando características como tamanho de partícula e a velocidade de hidratação da parede celular. Essas propriedades refletem a capacidade de formar géis e soluções viscosas (Burkitt *et al.*, 1985).

4.6.1 Índice de absorção em água

A absorção de água é um fator importante para a consistência do produto, sendo que em alguns estudos ela ainda é usada para descobrir a característica da fibra dessa farinha. Robertson *et al.* (2000) consideram 20 g de água/por g de matéria seca como padrão de absorção de água para fibras de frutas e hortaliças. As farinhas obtidas nas temperaturas de 70 °C e 50 °C apresentaram maiores granulometrias, visualmente, sendo a farinha de 60 °C com mais aparência em pó, como pode ser

observado na Figura 8, e com índice de absorção em água mais baixos que o padrão estipulado.

Figura 7 - Farinhas obtidas na temperatura de 50, 60 e 70 °C, respectivamente



Fonte: Autoria Própria (2024)

Os resultados de índice de absorção de água (IAA) obtidos revelam a interferência do processo de secagem na absorção de água, ficando entre os valores de 6,58 g de água/por g de matéria seca para a farinha obtida a 50 °C, 7,39 g de água/por g de matéria seca para a farinha obtida a 60 °C e 7,88 g de água/por g de matéria seca para a farinha obtida a 70 °C. Os resultados obtidos podem ser justificados pela mudança que os tratamentos térmicos causam nas propriedades das fibras citadas por Thimbauld, Lahaye e Guillon (1992).

4.6.2 Índice de solubilidade em água

A solubilidade em água mostra a solubilização da fibra associada aos efeitos de gelatinização. A solubilidade tem efeito na funcionabilidade da fibra e, principalmente, na estabilidade da viscosidade (Guillon; Champ, 2000).

Para as farinhas obtidas em temperaturas diferentes, pode se estabelecer relação da solubilidade à temperatura de secagem e a característica do produto como se indica na Figura 7. O índice de solubilidade em água para as farinhas de 50, 60 e 70 °C se mantiveram em 1,60%, 2,0% e 1,89%, respectivamente, verifica-se que o ISA aumentou de acordo com a menor granulometria, Tavares *et al.* (2012) apresentou valores de cerca de 1,2% de solubilidade para a farinha de arroz cru.

Farinhas com elevados valores de solubilidade em água podem ser empregadas em alimentos que requerem baixas temperaturas para serem preparados (instantâneos) ou como ingredientes para formulação de sopas, sobremesas e

molhos, que necessitam de ingredientes com maior solubilidade em água (Leonel; Freitas; Mischon, 2009).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou o processo de secagem dos ramos de espinafre, realizando sua modelagem matemática a partir da cinética de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Considerando as análises realizadas é possível concluir que a mudança de temperatura está relacionada ao tempo de secagem e altera a composição do produto. Pode-se inferir que o aumento da temperatura reduz o tempo de secagem e os compostos se mantêm nos ramos, visto que a água é removida com maior eficiência.

Dentre os cinco modelos matemáticos testados, o modelo de Henderson e Pabis Modificado apresentou melhor adequação à curva de secagem dos ramos de espinafre, tendo ajuste satisfatório. Foram obtidos nesse modelo os coeficientes de determinação 0,9894, 0,9779 e 0,9910, erro médio relativo de 5,17%, 9,19% e 4,56% e erro médio estimado de 0,03, 0,06 e 0,01 para as temperaturas de 50,60 e 70 °C, respectivamente.

Em relação aos compostos fenólicos, verificou-se que mesmo não sendo detectado na amostra *in natura* houve redução do teor dos compostos fenólicos, sendo influenciado pelo tempo de secagem.

Para a avaliação física da farinha obtida, o índice de absorção de água apresentou interferência pelo tempo de secagem, sendo encontrados valores de 6,58, 7,39 e 7,88 g de água/por g de matéria e para a solubilidade, valores que se alteram em decorrência da umidade final da folha, sendo os valores de 1,60%, 2,0% e 1,89% para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Com isso, pode-se afirmar que o trabalho foi de grande valia para fornecer dados sobre o processo de secagem dos ramos de espinafre, visto que é uma hortaliça pouco estudada e com grande capacidade nutricional. Além disso, recomenda-se estudos que avaliem sua composição de vitaminas e teores de fibras e minerais após a secagem, propiciando determinar a temperatura ideal para que a qualidade nutricional seja mantida ou não tenha tanta perda.

REFERÊNCIAS

- ABIA. **Estudo inédito mostra que mais de 90% do desperdício alimentar ocorre durante a cadeia produtiva**. 13 set. 2023. Disponível em: <https://www.abia.org.br/noticias/estudo-inedito-mostra-que-mais-de-90-do-desperdicio-alimentar-ocorre-durante-a-cadeia-produtiva#:~:text=O%20país%20está%20entre%20os,de%20alimentos%20bons%20para%20consumo>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- AGEITEC. **Secagem e desidratação**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/secagem-e-desidratacao>. Acesso em: 05 out. 2023.
- ALVES, J. J. L. Cinética de secagem das folhas de *Hyptis suaveolens*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, São Paulo, v.19, n.2, p.168-176, 2017.
- AMARO, L. F. C. G. M. Caracterização da eficiência anti-radicalar e do teor em compostos fenólicos do espinafre da nova-zelândia (*tetragonia tetragonioides*). Porto: **edição de autor**, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/54597>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 1–9, 2007. DOI: 10.53393/rial.2007.66.32841. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32841>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- AZEVEDO, F. L. A. A. **Valor nutricional, capacidade antioxidante e utilização de folhas de espinafre (*Tetragonia tetragonioides*) em pó como ingrediente de pão de forma**. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.
- BARBOSA, F. F *et al.* Evaluation of mathematical models for prediction of thin-layer drying of brazilian lemon-scented verbena leaves (*Lippia alba* (Mill) n.e. Brown). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.9, n.1, p.73-82, 2007.
- BARITAUUX, O. *et al.* Effects of drying and storage of herbs and spices on the essential oil: part I: Basil, *Ocimum basilicum* L. **Flavor and Fragrance Journal**, v. 7, n. 5, p. 267-271, 1992.
- BASSANEZI, R. C. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. 3. ed. São Paulo: **Contexto**, 2011.

BENALI, M.; AMAZOUZ, M. Drying of vegetable starch solutions on inert particles: Quality and energy aspects. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 4, p. 484–489, jun. 2006.

BERTONE, A. M. A.; BASSANEZI, R. C.; JAFELICE, R.S. M. **Modelagem Matemática**. Uberlândia, MG: UFU, 2014, 187 p.

BOTEON, M. **Por que não consumimos mais frutas e hortaliças?** 23 ago. 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opinioao-cepea/por-que-nao-consumimos-mais-frutas-e-hortalicas.aspx#:~:text=DISPONIBILIDADE/ACESSO%20%20Sazonalidade%20e%20percebibilidade,etapas%20da%20cadeia%20de%20comercializa%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 2 abr. 2024.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. Brasil: Ministério da Saúde, p. 819-877, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº8, de 2 de junho de 2005**. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo, Brasília: p. 3, 2005

BRASIL. **Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005**. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, constantes do anexo desta Portaria. Diário Oficial União, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BUNEA, A. *et al.* Conteúdo total e individual de carotenóides e ácidos fenólicos em espinafre fresco, refrigerado e processado (*Spinacia oleracea L.*). **Química de Alimentos**, Barking, v. 108, n.2, p. 649–656, 2008.

BURKITT, D. P. *et al.* **Dietary fibre**: fibre-depleted foods and disease. Academic Press: 1985.

CANELLA, D. S. *et al.* Consumo de hortaliças e sua relação com alimentos ultraprocessados no Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, Brasil, v. 52, p. 50, 2018. DOI: 10.11606/S1518-8787.2018052000111. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rsp/article/view/145875>. Acesso em: 05 abr. 2024.

CANO-CHAUCA, M. *et al.* Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 1, 2004.p.121-132.

CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Métodos numéricos para engenharia** São Paulo: McGraw-Hill, 2008. ISBN 9701039653

CLEMENTE, F. M. V. T. **Produção de hortaliças para agricultura familiar**. Brasília: Editora Técnica, 2015. E-book (108 p.). ISBN 978-85-7035-412-9. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1020866/producao-de-hortalicas-para-agricultura-familiar>. Acesso em: 2 abr. 2024.

CORRÊA, P. C. *et al.* Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-69162007000300020>. Acesso em: 02 abr. 2024.

CORNEJO, F. E. P.; NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. C. **Secagem e desidratação**. 9 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/secagem-e-desidracao>. Acesso em: 20 abr. 2023.

COSTA, S. S. *et al.* Microwave extraction of mint essential oil - Temperature calibration for the oven. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 126, p. 1–6, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413005517?via%3Dihub>

DA SILVA, J. R. B. *et al.* Cinética de secagem da Berinjela (*Solanum Melongena* L.) em estufa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e34111427319-e34111427319, 2022.

DA SILVA, R. V. **Hortaliças folhosas**. 5 jan. 2022. Disponível em: <https://www.sucessonocampo.com.br/hortalicas-folhosas/>. Acesso em: 2 abr. 2024.

DEUS, V. L. *et al.* Compostos fenólicos em hortaliças cultivadas nos sistemas convencional e orgânico: uma revisão. **Brazilian Journal of Health and Pharmacy**, v. 1, n. 1, p. 70-84, 2019.

DOYMAZ, İ.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 559-565, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Hortaliças**. Disponível em: www.cnph.embrapa.br. 2010.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: **Uma agricultura biodiversa para o futuro**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/americas/prioridades/agricultura-sustentavel-e-resiliente/pt/> Acesso em: 10 de out. de 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention: study**

conducted for the International Congress "Save Food!" at Interpack 2011 Düsseldorf, Germany. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERREIRA, Thales Henrique Barreto *et al.* Elaboração de muffins adicionados de espinafre e isentos de lactose e glúten. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 2, p. 170-177, 2021.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2003.

Food Dehydration. In: HELDMAN, D.R.; LUND, D.B. **Handbook of Food Engineering**, Second Edition. CRC Press, Cap. 10, p.471–493, 2007.

FROOTIVA CO. **Alimentos desidratados em pó: sua indústria sabe como utilizá-los?** | Frootiva. 1 fev. 2022. Disponível em: <https://frootiva.com.br/insumos-naturais/alimentos-desidratados-em-po-sua-industria-sabe-como-utiliza-los/#:~:text=Os%20alimentos%20desidratados%20em%20pó,utilizam%20diariament e%20em%20sua%20rotina>. Acesso em: 2 dez. 2023.

FURTADO, A. A. L. **Tratamento térmico**. 12 set. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/tratamento-termico>. Acesso em: 4 abr. 2024.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, abr-jun, 2017.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: Princípios e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Nobel Editora, 2009.

GOLLNER-REIS, João Paulo. **Modelagem matemática da secagem convectiva e dessecção das folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia sp.*)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

GOMES, F. de O; *et al.* Compostos bioativos e atividade antioxidante em espinafre (*Tetragoniatetragonoides (Pall.) Kuntze*) de diferentes sistemas de cultivo. In: Congresso brasileiro de ciência e tecnologia de alimentos, 26., 2018, Belém. **O uso consciente da biodiversidade: Perspectivas para o avanço da ciência e tecnologia de alimentos: resumos**. Campinas, SP: SBCTA, 2018.

GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084x/13_041. Acesso em: 4 mar. 2024.

GONELI, D. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.

GRAÇA, Maria Luiza Basílio Graça. **Estudo do processo de secagem de frutos do cerrado em secador de bandejas com circulação forçada de ar**. 2015. Trabalho de Conclusão de curso – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2015.

GRUBBEN, G. J. H. et al. **Plant resources of tropical Africa 2**. Vegetables. Wageningen: PROTA Foundation, 2004.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, v. 33, p.233-245, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sidra. **Censo Agropecuário 2017**. Acesso em: 05 mar. 2024

IBGE-POF. 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil** / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 120 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008. 1020 p.

INTELLIGENCE, Mordor. **Tamanho do mercado de alimentos desidratados e análise de participação – Tendências e previsões de crescimento (2023 – 2028)**. Set. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/dehydrated-food-market>. Acesso em: 2 dez. 2023.

JAIME, P. C.; MONTEIRO, L. Educação nutricional e consumo de frutas e hortaliças: ensaio comunitário controlado. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 41, n.1, p. 322-332, 2007.

KASHANINEJAD, M. et al. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.98-108, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>

LAHSASNI, S. et al. Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). **Energy**, v. 29, p. 211-224, 2004.

- LANA, M. M. **Sanitização de hortaliças**. Mar. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/sanitizacao#:~:text=A%20sanitiza%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20feita%20com,pot%C3%A1vel%20e%20uma%20vasilha%20limpa>. Acesso em: 04 abr. 2024.
- LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURACALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.
- LEMOS, A. G. **Determinação do fator de correção das hortaliças folhosas do CEASA de Brasília – DF**. 2007. 20 f. Monografia (Especialização em Gastronomia e Saúde) -Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- LEMOS, C. D. L. *et al.* **Cinética de secagem do espinafre (*Tetragonia tetragonoides*)**. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências, 2016.
- LEONARDI, A.L.; CANIATTI-BRAZACA, S.G. Disponibilidade de cálcio em leite bovino tratado com raios gama. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, Campinas, jan./mar., 2011.
- LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 66, n. 4, p. 486-493, 2009.
- LIMA-CORRÊA, R. A. B. *et al.* Thin-layer and vibrofluidized drying of basil leaves (*Ocimum basilicum L.*): analysis of drying homogeneity and influence of drying conditions on the composition of essential oil and leaf colour. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, [s. l.], v. 7, n. August 2015, p. 54–63, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.05.001>
- LIMA, S. N. C. **Desenvolvimento de bolo tipo Brownie com farinha de casca de jabuticaba**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2024 (em fase de elaboração)
- LOPES, F. J.; PEREIRA, N. R. Encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas variável. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 1707-1713, 2015.
- LOPES, S. B. *et al.* Aproveitamento do resíduo gerado na produção de mini beterrabas para a produção de farinha. **Comunicado técnico Embrapa 80**. 2011.
- MADAMBA, P. S. *et al.* The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00062-3](http://dx.doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3)

MARTINAZZO, A. P. *et al.* Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.301-306, 2007

MARTINAZZO, A.P. *et al.* Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais [online]**. 2010, v. 12, n. 4 [Acessado 2 Dezembro 2023], pp. 488-498. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-05722010000400013>>. Epub 05 Jan 2011. ISSN 1983-084X. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722010000400013>.

MCNAMEE, G. **Benefícios do espinafre para o organismo e como consumir** | CNN Brasil. 1 jul. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/conhecamos-beneficios-do-espinafre-para-a-saude/>. Acesso em: 2 abr. 2024.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-8, 2005.

MONTGOMERY, D. C. *et al.* **Estatística aplicada à engenharia**. 2. ed. [S.l.]: LTC, 2012.

MUNRO, D. B; SMALL E. Les Legumes du Canada. **NRC Research Pres**, local, n. X, p. 372-374, 1997.

MYHRE, J. B. *et al.* Tipos de refeições como fontes de ingestão de frutas, vegetais, peixes e grãos integrais entre adultos noruegueses. **Nutrição em saúde pública**, v. 11, pág. 2011-2021, 2015.

NASCIMENTO, A. P. S.; *et al.* Secagem convectiva e influência da temperatura nas propriedades físico-químicas das amêndoas de girassol comercial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.20, n.3, p.227-238, 2018.

NASCIMENTO, W. M.; DE MELO, P. C. T. Panorama da cadeia produtiva da cadeia de hortaliças no Brasil. *In: Curso sobre tecnologia de produção de sementes de hortaliças*, 11., 2010, Porto Alegre. **Palestras**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2011.

NEPA – NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO)** 4 ed. Campinas: NEPA – UNICAMP, 2011. 164 p.

OKOS, M.R. *et al.* Avaliação de modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, p. 1-12, 2013.

OLIVEIRA, M. A. **A remoção dos estoques públicos através do Corredor Noroeste: uma análise sob a ótica da logística do agronegócio**. 2022. 162 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) — Universidade de Brasília, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Universidade de Goiás, Brasília, 2022.

ORNELAS, L. H. **Técnica dietética**: seleção e preparo de alimentos. 8.ed. São Paulo: Atheneu, 2006.

O'CALLAGHAN, J. R. *et al.* Digital simulation of agricultural dryer performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 16, n. 3, p. 223-244. 1971.

PIZZINATTO, A.; MAGNO, C. P. R. S.; CAMPAGNOLLI, D. M. F. Avaliação e controle de qualidade da farinha de trigo. Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL, **Centro de Pesquisa e Tecnologia de Cereais - CEPEC**, Campinas, p. 67, 1996.

RADÜNZ, L. L. *et al.* Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. 2010, v. 14, n. 9 [Acessado 2 Dezembro 2023], pp. 979-986. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900010>>. Epub 06 Out 2010. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900010>.

RADÜNZ, L. L. *et al.* Efeitos da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia sidoides Cham*). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 9-13, 2002.

RADÜNZ, L.L. *et al.* Avaliação das curvas de secagem de guaco (*Mikania glomerata Spreng.*) em secador de bandejas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v.16, n.2, p.378-387, 2014.

RIAZ, M.N. Soybeans as functional foods. **Cereal Foods World**, v. 44, n. 2, p. 88-92, 1999.

ROBERTSON, J.A. *et al.* Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.33, p.72-79, 2000.

ROCHA, L. **Consumo de verduras e legumes permanece baixo no Brasil, alerta pesquisa** | CNN Brasil. 29 jun. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/consumo-de-verduras-e-legumes-permanece-baixo-no-brasil-alerta-pesquisa/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

SALEH, A.; BADRAN, I. Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer. **Renewable Energy**, v. 34, n. 10, p. 2239–2245, out. 2009.

SANTANA, M. F. S. **Caracterização físico-química de fibra alimentar de laranja e maracujá**. 2005. [s.n., s. l.], 2005. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/255947>. Acesso em: 10 abril 2024.

SANTOS, K.; DOS SANTOS, M.; CORREIA, J. **Obtenção da farinha de cenoura e sua utilização na elaboração de massas alimentícias**. 30 jun. 2010. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/>. Acesso em: 10 out. 2023.

SANTOS, P. S. J. *et al.* Alterações físico-químicas e biológicas dos óleos essenciais das folhas *Alpinia zerumbet* a partir de diferentes temperaturas de secagem. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n.4, p. 22392-22403, 2020.

SANTOS, P. B. *et al.* Parâmetros de secagem da cebolinha desidratada (*Allium fistulosum* L). **Simpósio de Engenharia de Alimentos da UFMG-SIMEALI**, 2017.

SATIA, J. A. *et al.* Fatores psicossociais e hábitos alimentares associados ao consumo de vegetais. **Nutrição**, v. 18, n. 3, pág. 247-254, 2002.

SILVA, M. B. Avaliação de um secador solar em diferentes condições climáticas e meteorológicas. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. e15411124405, 4 jan. 2022.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J.A.JR., Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158, 1965.

SOARES, A. H. **Estudo experimental e modelagem matemática do processo de secagem da folha de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

SOARES, C. D. F. *et al.* Processamento mínimo de espinafre Nova Zelândia. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 17, n. 2, p. 296-306, 2016.

SOUZA, J. C. B.; COSTA, M. R.; RENSIS, C. M. V. B.; SIVIERI, K. Sorvete: Composição, processamento e viabilidade da adição de probiótico. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.21, n.1, p.155-165, 2010

STATSOFT. **STATISTICA**. Versão 7.0. ultimate academic. [S. l.]: DELL, 2008.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, p. 748-755, 2005.

TAVARES, J. A. S. *et al.* Mudanças funcionais de farinha de arroz torrada com micro-ondas em função do teor de umidade e do tempo de processamento. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.42, n.6, p. 1102–1109, 2012.

THIMBAULD, J. F.; LAHAYE, M.; GUILLON, F. Physicochemical properties of food plant cell wall. In: SCHWEIZER, T. F.; EDWARDS, C. **Dietary fibre, a component of food**. Nutritional function in health and disease. Berlin: Springer-Verlag. 1992. P.21-39.

TONON, R.V.; BARONI, A.F.; HUBINGER, M.D. Study of osmotic dehydration of tomato in ternary solutions through response surface methodology. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, 2006.

VILELA, N.; LUENGO, R. **Produção de hortaliças folhosas no Brasil**. 1 dez. 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/producao-de-hortalicas-folhosas-no-brasil/>. Acesso em: 7 set. 2023.

WANG, C.Y.; SING, R.P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **ASAE Paper**, p. 78-6505, 1978.

ZANATTA, C. L.; SCHLABITZ, C.; ETHUR, E.M. Avaliação físico-química e microbiológica de farinhas obtidas a partir de vegetais não conformes à comercialização. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 459-468, 2010.

ZIMMERMANN, M. B; CHAOUKI, N; HURREL, R. F. Iron deficiency in Moroccan children. **Journal Clinical and Nutrition**, v. 81, n. 1, p. 115-121, 2005.

**APÊNDICE A- Dados experimentais da secagem dos ramos de espinafre
(*Tetragonia tetragonioides*)**

Tabela 5 - Dados experimentais da secagem dos ramos de espinafre

Tempo (min)	50 °C			60 °C			70 °C		
	m_i (g)	U_i (%)	RU	m_i (g)	U_i (%)	RU	m_i (g)	U_i (%)	RU
0	65,31	92,32	1	69,81	92,32	1	66,15	92,32	1
10	60,86	86,25	0,92572	68,01	90,04	0,97201	55,67	78,69	0,828786
20	58,31	82,77	0,88315	65,58	86,97	0,93422	50,98	72,60	0,752165
30	56,18	79,87	0,84760	63,45	84,27	0,90110	46,21	66,40	0,674236
40	55,22	78,56	0,83158	61,61	81,94	0,87249	42,49	61,56	0,613462
50	53,5	76,21	0,80287	59,52	79,30	0,83999	39,24	57,33	0,560366
60	51,82	73,92	0,77482	57,28	76,46	0,80516	36,63	53,94	0,517726
80	48,7	69,67	0,72275	55,06	73,65	0,77064	31,93	47,83	0,440941
100	45,54	65,36	0,67000	51,37	68,98	0,71326	28,25	43,05	0,38082
120	42,64	61,40	0,62159	48,18	64,95	0,66366	24,57	38,26	0,320699
140	39,83	57,57	0,57469	45,02	60,95	0,61452	20,37	32,80	0,252083
160	37,14	53,90	0,52979	41,75	56,81	0,56367	17,29	28,80	0,201764
180	34,55	50,37	0,48656	38,56	52,77	0,51407	14,98	25,79	0,164025
200	32,46	47,52	0,45167	35,32	48,67	0,46369	13,03	23,26	0,132168
220	30,54	44,90	0,41962	32,44	45,02	0,41890	11,6	21,40	0,108806
240	28,37	41,94	0,38340	29,83	41,72	0,37832	10,2	19,58	0,085934
260	25,25	37,69	0,33133	26,39	37,37	0,32483	6,72	15,05	0,02908
280	22,38	33,78	0,28342	23,54	33,76	0,28051	5,72	13,75	0,012743
300	19,99	30,52	0,24353	20,82	30,32	0,23822	4,94	12,74	-6,7E-17
330	17,72	27,42	0,20564	17	25,48	0,17882			
360	15,87	24,90	0,17476	14,25	22,00	0,13606			
390	14,26	22,70	0,14788	12,17	19,37	0,103716			
420	12,68	20,55	0,12151	10,32	17,03	0,074949			
450	11,25	18,60	0,09764	9,05	15,42	0,055201			
480	10,16	17,11	0,07945	8,1	14,22	0,040429			
510	9,17	15,76	0,06292	7,23	13,12	0,026901			
540	8,36	14,66	0,04940	6,61	12,33	0,01726			
570	7,63	13,66	0,03722	6,14	11,74	0,009952			
600	6,94	12,72	0,02570	5,74	11,23	0,003732			
630	6,7	12,39	0,02169	5,5	10,93	8,73E-17			
660	5,4	10,62	6,52E-17						

Fonte: Autoria Própria (2024)