



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



BRUNA CRISTINA MARRA

ESTUDO SOBRE SECAGEM DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) EM JANELA DE
REFRATÂNCIA

Patos de Minas

2025

BRUNA CRISTINA MARRA

ESTUDO SOBRE SECAGEM DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) EM JANELA DE
REFRATÂNCIA

Projeto Final de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Neiton Carlos da Silva

Patos de Minas

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO Nº 125

BRUNA CRISTINA MARRA

Estudo sobre secagem de beterraba (*Beta vulgaris*) em janela de refração

Projeto Final de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Neiton Carlos da Silva
Orientador - FEQUI/UFU

Dr.ª Carla Cristina de Sousa
Membro externo

Prof.ª Dr.ª Marieli de Lima
FEQUI/UFU

Patos de Minas, 10 de outubro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/10/2025, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/10/2025, às 10:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carla Cristina de Sousa, Usuário Externo**, em 11/10/2025, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6652961** e o código CRC **BC63745A**.

Dedico este trabalho aos meus avós Primo e Ivone (*in memoriam*) por todos os ensinamentos, conversas e risadas, e à minha família, por sempre me incentivar nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me capacitar nos momentos de maior aflição deste processo da realização de um sonho, e pelas pessoas que pude conhecer durante esta caminhada.

A minha família, meu pai Moacir por todo incentivo e exemplo, minha mãe Meire pelo colo em momentos de maior insegurança, aos meus irmãos Hugo e Lucas, que mesmo distante e em silêncio sempre torceram por minhas conquistas.

Agradeço em especial ao meu orientador, Neiton, por todo cuidado, carinho e paciência que teve durante o desenvolvimento deste trabalho e na jornada acadêmica, com palavras de incentivo, motivação e pela sua orientação. Aos docentes que fizeram a diferença neste período de tanto aprendizado.

Aos meus amigos, Julia e Ordarlei, que dividiram fardos, alegrias e aflições, tornando todas as dificuldades um pouco mais fáceis pelo companheirismo. Vocês foram essenciais.

Ao meu companheiro nas lutas diárias por sua paciência, cumplicidade e suporte, além do aconchego nos dias de maior cansaço, obrigada João Victor por participar desta conquista.

Ao grupo PET Engenharia de Alimentos, tutora e petianos, vocês me auxiliaram e proporcionaram ensinamentos que serão utilizados no âmbito profissional e pessoal.

Ao grupo da Semente a Xícara, que esteve comigo durante o desenvolvimento de pesquisa em iniciação científica e pelo networking proporcionando conversas cheias de conhecimento.

Aos colegas cujo nomes não foram mencionados, mas que sabem o quão importantes foram na minha vida acadêmica, pelas alegrias e aflições compartilhadas nos corredores, a participação em trabalhos e atividades, juntos aprendemos muito sobre o trabalho em equipe.

“Nada pode ser obtido sem uma espécie de sacrifício, está é a lei da troca equivalente.”
(Alphosen Elric, 2009).

RESUMO

Devido à demanda do consumidor, cada vez mais frutas, hortaliças e folhosas têm sido empregados em alimentos e bebidas visando a redução de açúcar. Uma cultivar que vem sendo bastante explorada é a beterraba, visto que esta possui diversos benefícios à saúde, com efeitos anti-inflamatórios, antimicrobianos, ajuda no combate à hipertensão e à diabetes. A secagem é um dos métodos mais utilizados para a conservação de alimentos e o janela de refratância é um método menos agressivo aos compostos bioativos dos alimentos, além de apresentar menores gastos energéticos e tempos menores em sua secagem. Por sua casca possuir quantidades significativas de betalaínas e pensando na redução de resíduos, o material foi seco sem sua retirada. O trabalho teve como objetivo apresentar a metodologia de secagem em janela de refratância para a beterraba (*Beta vulgaris* L.), visto que foram encontrados poucos estudos sobre este tipo de secagem para este alimento. No estudo foi feita a caracterização da beterraba analisando os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C^* , H° e ΔE , atividade de água, umidade, teor de compostos fenólicos totais (TPC), teor de flavonoides totais (TFC) e teor de betalaínas, para o material *in natura* e após a secagem em variadas temperaturas (55,9; 60; 70; 80 e 84,1 °C) e tempos (2,3; 2,5; 3,0 e 3,7 horas), sendo o ponto central de secagem 70°C por 3 horas. Os resultados obtidos para cor se assemelharam com a literatura apresentando intervalos de 3,32-5,36 para L^* , 2,03-5,30 para a^* , 3,27-4,94 para b^* , TPC foi maior possuindo variação de 1708,80-2688,24 mg ácido gálico/100 g de massa seca, TFC menor podendo ter ou não relação com o fator de uso do desmoldante, ou pelo manejo do cultivar até sua colheita apresentando 54,95-95,14 mg rutina/100 g de massa seca de variação, para as betalaínas a literatura divergiu e houve-se dificuldade para discussão dos dados. Já para os parâmetros de cor notou-se que o processo é sensível às condições de tempo e temperatura, podendo concentrar os pigmentos ou promover sua degradação dependendo das condições aplicadas. A análise dos parâmetros C , H° e ΔE confirmou alterações cromáticas significativas em relação ao *in natura*. O método de secagem aplicado auxiliou na conservação do pigmento, o que pode ser uma ótima alternativa pensando nesta utilização, porém mais estudos serão interessantes para utilização da beterraba como um alimento funcional e para demonstrar outras vantagens desta metodologia para secagem desta cultivar.

Palavras-chave: Secagem por janela de refratância, tecnologia de secagem, desidratação, secagem convectiva, beterraba, *Beta vulgaris* L.

ABSTRACT

Due to consumer demand, more and more fruits, vegetables, and leafy greens have been used in foods and beverages to reduce sugar content. One crop that has been widely exploited is beetroot, as it has several health benefits, including anti-inflammatory and antimicrobial effects, and helps combat hypertension and diabetes. Drying is one of the most widely used methods for food preservation, and refractance window drying is a method that is less aggressive to the bioactive compounds in food, in addition to requiring less energy and shorter drying times. Because the peel contains significant amounts of betalains and with a view to reducing waste, the material was dried without removing the peel. The aim of the study was to present the refractance window drying methodology for beets (*Beta vulgaris* L.), as few studies have been found on this type of drying for this food. The study characterized the beetroot by analyzing the color parameters L*, a*, b*, C*, H°, and ΔE, water activity, moisture content, total phenolic compound content (TPC), total flavonoid content (TFC), and betalain content for the raw material and after drying at various temperatures (55.9; 60; 70; 80 and 84.1 °C) and times (2.3; 2.5; 3.0 and 3.7 hours), with the central drying point being 70 °C for 3 hours. The results obtained for color were similar to those reported in the literature, with ranges of 3.32-5.36 for L*, 2.03-5.30 for a*, 3.27-4.94 for b*, TPC was higher, ranging from 1708.80-2688.24 mg gallic acid/100 g dry mass, TFC was lower, which may or may not be related to the use of mold release agent or to the management of the cultivar until harvest, presenting a variation of 54.95-95.14 mg rutin/100 g dry mass. For betalains, the literature diverged and it was difficult to discuss the data. As for color parameters, it was noted that the process is sensitive to weather and temperature conditions, which can concentrate pigments or promote their degradation depending on the conditions applied. Analysis of the C, H°, and ΔE parameters confirmed significant chromatic changes compared to the fresh product. The drying method used helped preserve the pigment, which could be a great option for this use, but more studies would be helpful to explore the use of beets as a functional food and to show other advantages of this drying method for this crop.

Keywords: Refractance window drying; drying technology, dehydration, convective drying, beetroot; *Beta vulgaris* L.;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação morfológica da beterraba.	4
Figura 2 – Pastinaca.....	4
Figura 3 - Subespécies de <i>Beta vulgaris</i>	5
Figura 4 – Diagrama esquemático do processo de <i>Spray dryer</i>	11
Figura 5 – Esquema de secagem por janela de refração.	13
Figura 6 – Liquidificador usado para o processamento das beterrabas.	16
Figura 7 – Preparação da amostra para secagem no <i>RW</i>	16
Figura 8 – Secador de janela de refração.	17
Figura 9 – Distribuição do purê para a secagem.	18
Figura 10– Entrada e saída de água no secador.	19
Figura 11 – Aqualab PRE Dewpoint.	21
Figura 12 – Estufa de convecção forçada.	22
Figura 13 – Representação da cor em um sistema de coordenadas CIE.	24
Figura 14 – Colorímetro analisando amostra <i>in natura</i>	25
Figura 15 – Pó de beterraba após maceração.	28
Figura 16 – Cinética de secagem da beterraba por janela de refração para as temperaturas de 60, 70 e 80°C.....	29
Figura 17 – Teor de Compostos Fenólicos Totais (TPC) após a secagem em janela de refração.	31
Figura 18 – Superfície de resposta (TPC).	32
Figura 19 – Teor de Flavonoides Totais (TFC) após a secagem em janela de refração.....	33
Figura 20 – Superfície de resposta (TFC).	34
Figura 21 – Teor de β -cianina após secagem em janela de refração.	35
Figura 22 – Teor de β -xantina após secagem em janela de refração.	36
Figura 23 – Superfície de resposta (Teor de Betalaínas).....	37
Figura 24 – Superfície de resposta de cor (L^*).	38
Figura 25 – Superfície de resposta de cor (a^*).	39
Figura 26 – Superfície de resposta de cor (b^*).	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da beterraba em RW ($\alpha = 1,4142$).....	19
Tabela 2 – Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para a secagem da beterraba em RW.....	20
Tabela 3 – Resultados de caracterização da beterraba <i>in natura</i>	26
Tabela 4 – Resultados para as variáveis de umidade e atividade de água (a_w) da beterraba após secagem em janela de refração.	30
Tabela 5 – Resultados para dos teores de betacianina, betaxantina, betalainada beterraba após secagem no RW.....	30
Tabela 6 – Dados dos parâmetros de cor para o pó de beterraba.	38

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Características da Beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) e suas propriedades de interesse	4
3.1.1. Compostos bioativos	5
3.1.2. Aplicações dos resíduos	6
3.1.3. Benefícios à saúde	7
3.2. Secagem.....	9
3.2.1. Janela de Refratância (<i>Refractance Window</i>)	12
4. METODOLOGIA.....	16
4.1. Material.....	16
4.2. Aparato Experimental de Janela de Refratância (<i>Refractance Window</i> – RW)	17
4.3. Análises realizadas.....	20
4.3.1. Atividade de água e umidade.....	20
4.3.2. Análise de compostos bioativos.....	22
4.3.2.1. Teor de Compostos Fenólicos Totais (TPC)	22
4.3.2.2. Teor de Flavonoides Totais (TFC)	23
4.3.2.3. Teor de Betalaínas (TB)	23
4.3.3. Cor instrumental	24
4.3.4. Cinética de Secagem.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1. Amostra <i>in natura</i>	26
5.2. Aspecto Geral e Cinética de Secagem	28
5.3. Análises Realizadas	29
5.3.1. Teor de Fenólicos Totais (TPC)	30
5.3.3. Teor de Betalaínas Totais (TB), betacianinas e betaxantinas	34
5.3.4. Cor	37
6. CONCLUSÃO.....	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma raiz tuberosa conhecida por seus benefícios nutricionais e funcionais na alimentação humana, sendo utilizada tanto *in natura* quanto processada de diversas formas. Por apresentar compostos bioativos, seu interesse industrial cresceu consideravelmente, uma vez que esta confere propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e cardioprotetoras (Clifford et al., 2015).

Sua composição nutricional consiste principalmente por: 9-10% carboidratos (predominantemente sacarose), fibras alimentares que favorecem o trânsito intestinal, vitaminas (ácido fólico/B9 e C), minerais como potássio, magnésio, ferro e manganês, possuindo um teor de água de 87 a 90% de água (Stoica et al., 2025). Seus valores nutricionais em 100 g do material *in natura*, consiste em 84,73 % de carboidratos, 14,50 % de proteínas e 0,76 % de lipídeos (TACO, 2011).

Dentre os compostos bioativos em destaque na beterraba tem-se as betalaínas que são pigmentos solúveis em água divididos em betacianinas (vermelho arroxeado) e betaxantinas (amarelo-alaranjado), as quais possuem função antioxidante e capacidade de neutralizar radicais livres. São termossensíveis, por isso é necessário cuidado em processos térmicos como a secagem (Kujala et al., 2001). Além disso, também há presença dos polifenóis e flavonoides que atuam na prevenção do estresse oxidativo e contribuem para o efeito protetor contra doenças cardiovasculares e inflamatórias (Chen et al., 2021).

A secagem é um processo unitário amplamente empregado na indústria de alimentos cujo objetivo é a remoção parcial ou total de água presente no produto, visando aumentar sua vida útil, facilitar o transporte e reduzir custos de armazenamento. A beterraba possui um elevado teor de água, o que a torna perecível e justifica a implementação desse tipo de processo para sua conservação. Além disso, por apresentar compostos bioativos como as betalaínas, flavonoides e açúcares, a secagem apresenta-se também como uma alternativa tecnológica para a produção de produtos diversos, como *snacks* saudáveis, corantes naturais e ingredientes em pó (Hamid e Nour, 2018; Radojčin et al., 2021).

Os métodos de secagem que comumente são mais aplicados à beterraba, são: a secagem convencional em estufa, que consiste na exposição do alimento a uma corrente de ar quente forçada, o qual é mais simples e acessível, porém pode provocar degradação térmica dos compostos, e a liofilização (secagem por congelamento seguido por sublimação da água), método de alta qualidade, que preserva os constituintes termossensíveis, possuindo elevada retenção de cor, aroma e sabor, mas de custo operacional alto (Calín-Sánchez et al., 2020;

Kamel et al., 2024). Outras metodologias têm registro escasso na literatura e/ou não apresentaram resultados satisfatórios.

Neste trabalho, utilizou-se o método de secagem por janela de refração (ou *refractance window*), que é uma técnica inovadora utilizada principalmente para desidratar alimentos sensíveis ao calor, como: frutas, hortaliças e extratos ricos em compostos bioativos. Este método consiste em uma lâmina de água quente que circula por dentro de um recipiente fechado sobre o qual é colocado um filme plástico de polímero transparente (comumente o *Mylar*®). O alimento, geralmente na forma de purê, extrato ou polpa, é espalhado sobre a superfície externa deste filme, fazendo com que a transferência de calor ocorra através da fina película plástica. Dentre suas vantagens, pode-se citar preservação de cor, sabor aroma e compostos bioativos e baixo consumo energético quando comparado à liofilização (Nindo; Tang, 2007; Shende; Datta, 2019; Silva et al., 2020). Visto que foram encontrados poucos trabalhos sobre secagem de beterraba pelo método janela de refração, este trabalho busca avaliar este tipo de processo por tal método e seus efeitos nos compostos bioativos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Realizar a secagem de beterraba (*Beta vulgaris* L.) em secador de janela de refração (*refractance window* – *RW*) e avaliar os efeitos dessa metodologia no produto final obtido sobre as mudanças nos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) e teores de compostos bioativos.

2.2. Objetivos específicos

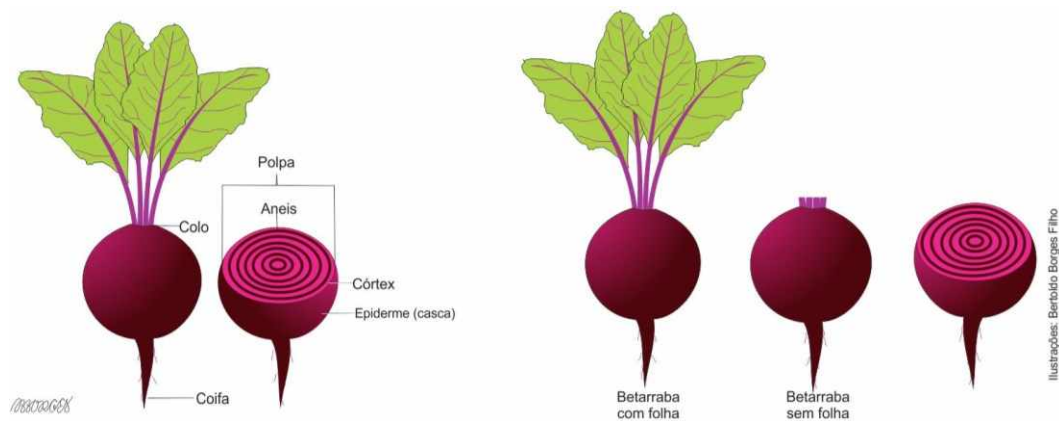
- Apresentar dados da literatura com base na análise bibliométrica, levantando trabalhos relacionados à aplicação de secagem em beterraba e em alimentos;
- Verificar os efeitos dessa técnica na cinética de secagem nas condições de: cor e teores de compostos bioativos (fenólicos totais, flavonoides totais e teor de betalaínas) no produto final obtido;
- Caracterizar a beterraba *in natura* e após as condições de secagem variando as temperaturas e tempos;
- Avaliar a relevância da secagem de alimentos por janela de refração como método de conservação eficiente e menos danoso na aplicação para a beterraba.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características da Beterraba (*Beta vulgaris* L.) e suas propriedades de interesse

A beterraba da espécie *Beta vulgaris* L. pertence à família *Amaranthaceae* da subfamília *Betoideae*, sendo originária de regiões européias e norte-africanas de clima temperado. É cultivada há centenas de anos, sendo consumida mundialmente em saladas, sopas e sucos. Povos antigos também consumiam as partes verdes da beterraba na forma de acelga (Montanari, 2012). A Figura 1 representa a morfologia da beterraba.

Figura 1 – Representação morfológica da beterraba.



Fonte: CEAGESP, 2025.

O consumo de partes subterrâneas de beterraba foi relatado pela primeira vez na Itália e na Alemanha em 1542, sendo que a beterraba era diferente da conhecida hoje, se assemelhando a uma Pastinaca (Figura 2). Esta cultivar possui diversas aplicações, sendo na indústria de alimentos ou até mesmo na cosmética por conta de seu corante natural (Aykin-Dinçer et al., 2021; Domínguez et al., 2020).

Figura 2 – Pastinaca.

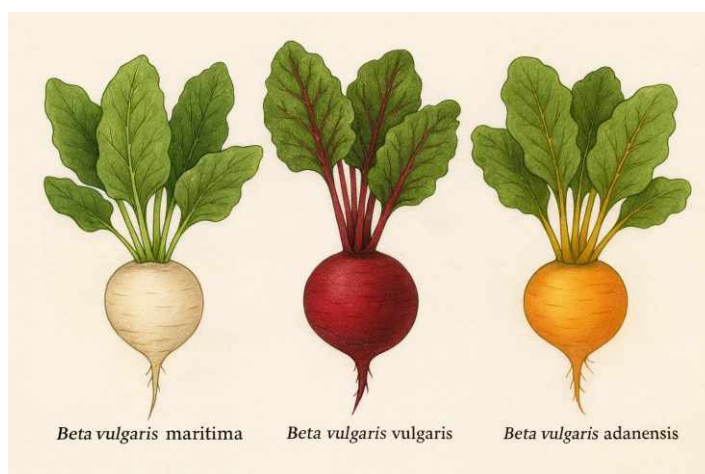


Fonte: Google Imagens.

Existem 3 subespécies de *Beta vulgaris* que estão comercialmente no mercado: *B. marítima*, *B. vulgaris* e *B. adanensis*, que são conhecidas popularmente por: beterraba vermelha, beterraba açucareira e beterraba dourada (Chhikara et al., 2019) (Figura 3). A cultivar está disponível o ano todo, em estações frias com uma faixa de temperatura ideal de 15 a 19 °C, podendo ser colhida em 100 a 120 dias e no verão em 75 a 90 dias, ressaltando que temperaturas mais baixas realçam sua coloração vermelha profunda (Yashwant, 2015).

Apesar de se tratar de uma cultivar antiga, a compreensão de seu valor ainda é restrita. Muitas pesquisas vêm sugerindo que, devido à presença elevada de compostos bioativos, a beterraba pode se enquadrar na definição de alimento funcional, por conta dos benefícios à saúde que vão além de seu valor nutricional (Ceclu, 2020; Chen et al., 2021; Fu et al., 2020).

Figura 3 - Subespécies de *Beta vulgaris*



Fonte: Autor.

3.1.1. Compostos bioativos

Como comentado, as beterrabas são ricas em compostos bioativos, como: betalainas, flavonoides, terpenoides, saponinas, vitaminas, ácidos fenólicos, esteroides, alcaloides, taninos e açúcares. Possui minerais como potássio, fósforo, magnésio, ferro e cálcio (Knez et al., 2022). As betalainas são compostas principalmente por betacianinas e betaxantinas. Segundo Delgado-Vargas et al., (2000) o conteúdo de betacianinas é responsável por 75-95% dos pigmentos totais da beterraba, sendo os 5-25% restantes correspondentes às betaxantinas, estas possuem coloração vermelho a roxo intenso e amarela a alaranjando, respectivamente.

As betalaínas estão presentes na beterraba, principalmente em sua casca onde seus níveis são mais elevados, são consideradas fortes agentes antioxidantes, visto que podem diminuir o estresse oxidativo removendo eficientemente as espécies reativas de oxigênio (Fu et al., 2020; Silva et al., 2019). Estas também apresentam outros benefícios à saúde, sendo elas atividades antimicrobianas, antivirais e anti-inflamatórias (Madali et al., 2020; Moreno-Key et al., 2021; Wijesinghe e Choo, 2022). Este alimento também contribui para a saúde respiratória e cardiovascular, tornando-o benéfico no suporte para estes sistemas (Baião et al., 2020).

Dado o possível status de superalimento por seus benefícios nutricionais, sabor distinto e cor vibrante, a beterraba tem se tornado foco de pesquisa para acadêmicos e para a indústria alimentícia (Sentkowska e Pyrzunska, 2023; Yashwant, 2015). Os pigmentos extraídos da beterraba têm ampla aplicação na indústria de alimentos para realçar a cor vermelha em molhos, sobremesas, sopas, doces, geleias, sorvetes e cereais. Seu principal apelo está em substituir os corantes sintéticos por naturais, além dos benefícios à saúde devido às suas potentes propriedades antioxidantes e do fato de que algumas opções sintéticas podem causar reações alérgicas (Chhikara et al., 2019).

3.1.2. Aplicações dos resíduos

Os resíduos industriais de beterraba, oriundos da produção de sucos, bebidas e geleias, podem conter polpa e casca da produção, além de altos níveis de pigmentos e compostos valiosos. Sendo assim a utilização deste material para extração de corantes naturais e outros compostos pode reduzir o desperdício e agregar valor à cadeia produtiva (Chhikara et al., 2019; Sooch et al., 2024).

A FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) estipula que os resíduos e subprodutos do processamento de beterraba somam até 1,3 bilhão de toneladas por ano no mundo, sendo estes compostos principalmente pela casca, caules e bagaços, equivalendo a um quarto da produção da indústria alimentícia. Sabe-se que por muitos anos os resíduos eram descartados ou reaproveitados como fertilizante ou para alimentação animal, porém, pesquisas têm evidenciado que esses subprodutos são ricos em compostos bioativos, apresentando potencial para uso no desenvolvimento de alimentos funcionais ou como aditivos alimentares (Ferreira et al., 2015; Ganesh et al., 2022).

Devido ao aumento da preocupação com o excessivo teor de açúcar, nos EUA e na Europa, ocorreu uma redução significativa do consumo de sucos pela população. Sendo assim

o setor de bebidas enxergou a necessidade de se adaptar, inovando com produtos de baixo e zero calorias. Visando o desejo do consumidor, uma dessas tentativas foi incluir vegetais como a beterraba para redução do teor geral de açúcar nos produtos. Com essa utilização, após o preparo do suco tinha-se o bagaço (resíduo sólido) que geralmente é considerado subproduto, mesmo possuindo alto teor de fibras e quantidades substanciais de fenólicos e betalainas relataram que esse bagaço apresenta um teor de umidade de 10,1 %, de cinzas de 5,2 %, de carboidrato total de 20,83 %, de proteína de 12,64 %, de fibra insolúvel de 45,08%, de fibra solúvel de 20,14 % e de gordura de 1,31 % (Afzaal et al., 2022; Costa et al., 2017).

3.1.3. Benefícios à saúde

Na casca da beterraba geralmente é encontrada a maioria das betalainas do cultivar, sendo de até 54 % do total, seguida pela coroa com 32 % e a polpa com 14 % (Afzaal et al., 2022). Esta apresenta ampla gama de ações biológicas, incluindo características antibacterianas, antioxidantes, anti-inflamatórias, ansiolíticas, anti-hipertensivas, antidiabéticas e anticancerígenas (Shakir et al., 2024).

Dentre as aplicações para evitar o desperdício da beterraba, tem-se o uso de seu pó como fonte de fibras, minerais e antioxidantes, enquanto misturas em receitas de pães e produtos assados (Sooch et al., 2024). Cascas e bagaço são ricos em compostos promotores da saúde, podendo ser utilizados em nutracêuticos, fármacos e alimentos funcionais. A utilização do bagaço nas concentrações de 3, 6 e 9 g em *apple-pie pocket* (um tipo de pastel assado com recheio), por exemplo, previne a oxidação de sua gordura, devido as propriedades antioxidantes, atribuídas às suas altas concentrações de betalainas e compostos fenólicos (Theba et al., 2021).

Dentre os benefícios que a cultivar e seus subprodutos possuem, pode-se evidenciar o potencial medicinal contra diferentes doenças, visto que os compostos bioativos são de suma importância para a saúde humana (Clifford et al., 2015). A atividade antioxidante relaciona-se às substâncias ou a processos que reduzem naturalmente a oxidação, previnem a geração ou restringem a propagação de radicais livres por vários meios e neutraliza-os antes que possam danificar as células. Além das betalainas, a beterraba contém outros componentes com tal função, como a rutina, epicatequina e ácido cafeico, sendo as betalainas a principal responsável (Georgiev et al., 2010). Segundo Vasconcellos et al. (2016) foi observado potencial antioxidante de 80,5 % para o suco de beterraba, de 95,3 % para o pó de beterraba, de 95,7 % para os chips de beterraba e de 85,8 % para beterraba cozida.

O uso da beterraba como fonte de nitrato para o tratamento de hipertensão arterial também tem sido documentado. Quando convertida em nitrito pode melhorar a função endotelial, aumentando os níveis de óxido nítrico (NO), monofosfato de guanosina circular (cGMP) e dilatando os vasos sanguíneos (Hobbs et al., 2012). Segundo um estudo conduzido por Mumford et al. (2018), dentre 28 ciclistas do sexo masculino que frequentemente fazem uso de um suplemento contendo 100 mg/dia de betalaínas por 7 dias, notaram melhora no fluxo sanguíneo da artéria branquial. Apesar disto, não foram observadas alterações em seus parâmetros sanguíneos, ou seja, níveis de NO que permaneceram iguais. Adicionalmente, foi conduzido um estudo em 24 homens com doença arterial coronariana que ingeriram cápsulas de beterraba contendo 25 mg de betalaínas, o que resultou em um aumento nos níveis de Sirtuína-1 e uma diminuição nos níveis de lipoproteína de baixa densidade oxidada e proteína C reativa altamente sensível (Rahimi et al., 2019).

Segundo Coimbra et al. (2023), os resultados dos ensaios celulares em seu estudo, indicam que a farinha de casca de beterraba em estrato aquoso impactou significativamente as células de câncer de mama triplo-negativo (MDA-MB-231), diminuindo sua viabilidade de forma dependente da dose e do tempo. As cascas de beterraba, devido a presença de betalaínas foram bastante estudadas por suas propriedades anticancerígenas. Devido as interações sinérgicas entre as betalaínas e agentes anticancerígenos específicos, resultando em maior eficácia citotóxica, justifica-se uma maior exploração de estudos abrangentes *in vitro* e *in vivo* (Fu et al., 2020).

No estudo de Lazăr (2022), verificou-se a atividade inibitória *in vitro* do extrato de casca de beterraba sobre quatro enzimas testadas, sendo α -amilase, α -glicosidase, lipase e lipoxigenase. Os efeitos inibitórios contra a atividade das enzimas analisadas com uma porcentagem de inibição na α -amilase foi de $53,93 \pm 0,27$ %, α -glicosidase foi de $66,79 \pm 0,14$ %, lipase pancreática foi de $93,10 \pm 0,52$ % e lipoxigenase foi de $45,17 \pm 0,33$ %, a depender da concentração. Os resultados sugerem o potencial do extrato da casca de beterraba na contribuição do controle da glicemia pós-prandial, estresse oxidativo celular relacionado a diabetes.

Kabir et al. (2015) verificaram que ao administrar extrato aquoso de beterraba em doses de 50 e 200 mg/kg durante 8 semanas, obteve-se benefícios anti-hiperglicêmicos à camundongos com diabetes tipo 2. Estes efeitos foram notados por meio do aumento nos níveis de insulina, melhor eliminação de glicose em miócitos esqueléticos e melhor absorção de glicose facilitada pelos transportadores de glicose tipo 4 (GLUT4). Já o extrato metanólico

aquoso das folhas de beterraba nas doses de 50, 100 ou 200 mg/kg pc, administrados por 28 dias resultou em efeitos antidiabéticos (El-Ghaffar et al., 2019).

Dito isto, é notável o potencial dessa raiz em seu uso integral, podendo ser aplicado tanto na extração de compostos bioativos importantes como corante na indústria de alimentos (em bolos, sorvetes e doces no geral). A incorporação do pó de beterraba aos alimentos traz benefícios reconhecidos à saúde, além de reforçar a importância de reduzir resíduos, visto que os mesmos têm utilidades maiores que adubação e ração animal.

3.2. Secagem

A secagem consiste no processo de remoção de água/umidade de alimentos através da transferência de calor e de massa, resultando em pós, flocos, grânulos ou filmes. A retirada da água não só é capaz de inibir ou diminuir o crescimento microbiano, mas também diminui os custos no transporte e armazenamento da matéria visto que seu volume diminui e aumenta o *shelf-life* (vida útil) do produto (Ronchetti, 2014; Waghmare, 2021). O processo de secagem é interessante mesmo com o gasto de energia, pois pode originar alimentos mais estáveis a contaminações microbianas e outras reações que podem ser deteriorantes, assim prolongando a vida útil dos mesmos (Raghavi, Moses, Anandharamakrishnan, 2018).

Para a conservação de alimentos, a secagem é um procedimento físico antigo e incomparável, utilizado para preparação direta de produtos alimentícios, bem como para processamento posterior na indústria de alimentos. Inicialmente, a secagem era realizada de forma simples e natural, utilizando-se do sol. Atualmente o processo faz uso de equipamentos e parâmetros de secagem que são cuidadosamente examinados e otimizados em cada estágio do procedimento, tornando o método mais sofisticado e complexo. Esta técnica além de preservar o produto, traz impacto positivo em sua qualidade, principalmente visando especiarias, plantas medicinais, enzimas bioativas e ervas (Rahman, 2020; Szychowski et al., 2018).

Este processo é conhecido como o melhor e mais eficiente na conservação de frutas, ervas e vegetais, diminuindo seu peso e volume, reduzindo os custos de embalagem, armazenamento e transporte. Além disso, as propriedades de textura e sabor são modificadas, obtendo-se novos tipos de produtos, como salgadinhos, doces, dentre outros, ideia esta que vem crescendo cada vez mais como opções saudáveis e análogas as já existentes no mercado (Sehrawat et al., 2018).

A água está presente em todos os alimentos, sendo um fator de perecibilidade com o tempo. Assim, surgiu o conceito de atividade de água (a_w), que tem sido utilizado para demonstrar a estabilidade física, química e microbiológica para um alimento desidratado, visto que apenas o conhecimento do teor de umidade não é suficiente para tal. Um exemplo clássico de alimentos que sofrem de instabilidade em sua qualidade quando secos, são as frutas secas, mesmo reduzida a atividade de água sendo de geralmente 0,5-0,7, estas podem escurecer e perder a qualidade (Celestino, 2010). Embora as oleaginosas e nozes possuam umidade muito baixa, de geralmente <5%, são ricas em gorduras insaturadas, estando sujeitas à oxidação lipídica (Silva et al., 2011). Um exemplo disso são castanhas de caju, estas podem se tornar rançosas em poucas semanas quando expostas à oxigênio, mesmo com atividade de água próxima a 0,3 (Celestino, 2010).

Alguns alimentos apresentam comportamento contrário, sendo estes estáveis com alto teor de umidade. Conservas de vegetais em vinagre, sendo legumes ou hortaliças imersos em salmoura, mesmo com umidade altíssima (atividade de água de 0,98) são estáveis. Esta estabilidade se dá devido o pH muito baixo entre 3,0-4,0 e do sal adicionado, que impedem a multiplicação de patógenos (Fernandes et al., 2014). A atividade de água é a quantificação da parcela de água que está disponível para o crescimento microbiológico e para que ocorra interações de hidratação e reações químicas (Fellows, 2006). Sendo esta definida como a razão entre a pressão de vapor da água do alimento e a pressão de vapor saturado da água pura nessa mesma temperatura (Chen e Patel, 2008).

Assim, dentre os objetivos mais importantes na implementação da secagem em alimentos, tem-se: a preservação de alimentos tornando-os disponíveis durante o ano todo, conversão de fresco para produto seco mantendo ou até melhorando sua qualidade final, processamento sustentável uma vez que os métodos de secagem têm melhorado sua eficiência energética, visando redução de custos e menor impacto ambiental (Berk, 2018).

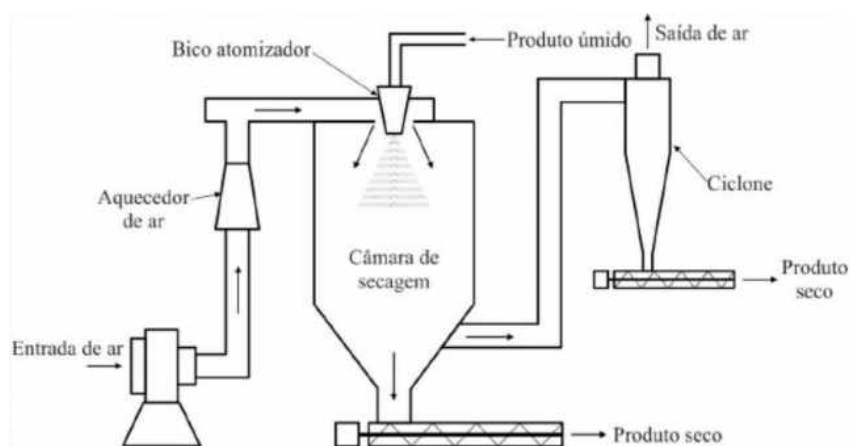
Existem diversas técnicas de secagem que oferecem os seus prós e contras. Algumas das mais utilizadas são: secagem convectiva, por pulverização ou por atomização (*spray dryer*), liofilização e micro-ondas. A secagem convectiva é um dos métodos mais tradicionais e usados na indústria de alimentos, principalmente por convecção forçada de ar quente, como em fornos e estufas. Neste método o produto úmido é exposto a uma corrente de ar quente e seco, para facilitar as transferências de calor e massa. Através da transferência do calor em direção ao material, se fornece a energia necessária para que a água em sua superfície seja vaporizada, possuindo as vantagens de uso simples, baixo custo operacional, facilidade do

controle de temperatura e tempo e desvantagens como, danificar compostos sensíveis ao calor, escurecimento, endurecimento, alterações na textura e perda de aroma (Maskan, 2000; Mujumdar, 2014).

A metodologia de utilização do *spray dryer* também conhecida por secagem por pulverização ou atomização, consiste em quatro etapas: atomização, contato com ar quente ou secagem, formação de partículas (secagem) e separação do produto seco do ar. O equipamento funciona secando uma fase líquida, emulsão ou suspensão, sendo que esta é atomizada em uma câmara de secagem e entra em contato com uma corrente de ar quente. Assim a fase líquida é seca, resultando em materiais na forma de pó (de-la-Haba et al., 2023).

Os fatores que mais influenciam no seu uso são as variáveis operacionais, como as características do material que será seco, suas propriedades, como tamanho das partículas, densidade do produto e composição do mesmo. Dentre as vantagens têm-se a produção de um pó estável, curto tempo de secagem com menor tempo de exposição e a possibilidade de encapsular compostos sensíveis para proteção de pigmentos e bioativos. As desvantagens são as possíveis perdas de compostos sensíveis ao calor com o uso de temperaturas mais elevadas, problema de “stickiness” (o pó fica pegajoso) se a solução for muito concentrada de açúcares ou se a temperatura e umidade de saída estiverem inadequadas, causando perdas de produto por aderência nas paredes do secador. Além disso o custo do equipamento é relativamente alto quando comparado a outros métodos (Selvamuthukumaran, 2019). Na Figura 4 representa o diagrama de funcionamento do *spray dryer*.

Figura 4 – Diagrama esquemático do processo de *Spray dryer*.



Fonte: Petri, 2019.

O método de liofilização, por sua vez, não causa danos significativos à parede celular do alimento preservando completamente as células. Por este fator muitas indústrias têm empregado o método em seus processos e vários estudos vem explorando o potencial desta técnica (Gudhe et al., 2014). No entanto pensando em processamento em larga escala, os custos de instalações e operações seriam altos, visto que normalmente a secagem por liofilização é realizada em tempo longo de até 12 horas. Em contrapartida é um método fácil de usar (Ochoa-Martínez et al., 2012).

A secagem por micro-ondas baseia-se no aquecimento volumétrico que ocorre quando as ondas eletromagnéticas passam pelo alimento, resultando em uma oscilação de suas moléculas. Esta gera energia térmica que é então utilizada para remover a água que se encontra no material úmido. A radiação do equipamento está incluída no espectro eletromagnético e seus comprimentos de ondas variam de 1mm a 1 m. As frequências que mais aplicam a alimentos são as de 915 e 2450 MHz (Calín-Sánchez et al., 2020). Este método resulta em produtos secos de alta qualidade com custos reduzidos e alta eficiência energética, devido ao fato de o aquecimento volumétrico ser espalhado por toda extensão do material, reduzindo consequentemente seu tempo de secagem quando comparado ao método de secagem convectiva. No entanto, estudos indicam que pode haver danos ao produto por não haver o controle adequado de calor e transferência de massa durante o processo (Joardder et al., 2013).

Mesmo com a utilização dessas técnicas de forma tão comum, verifica-se que as mesmas possuem limitações e/ou podem causar danos à qualidade dos alimentos, conforme a forma como são conduzidas. Nesse contexto, técnicas novas de secagem vêm sendo consideradas, como o janela de refração (ou *refractance window*), utilizada neste trabalho.

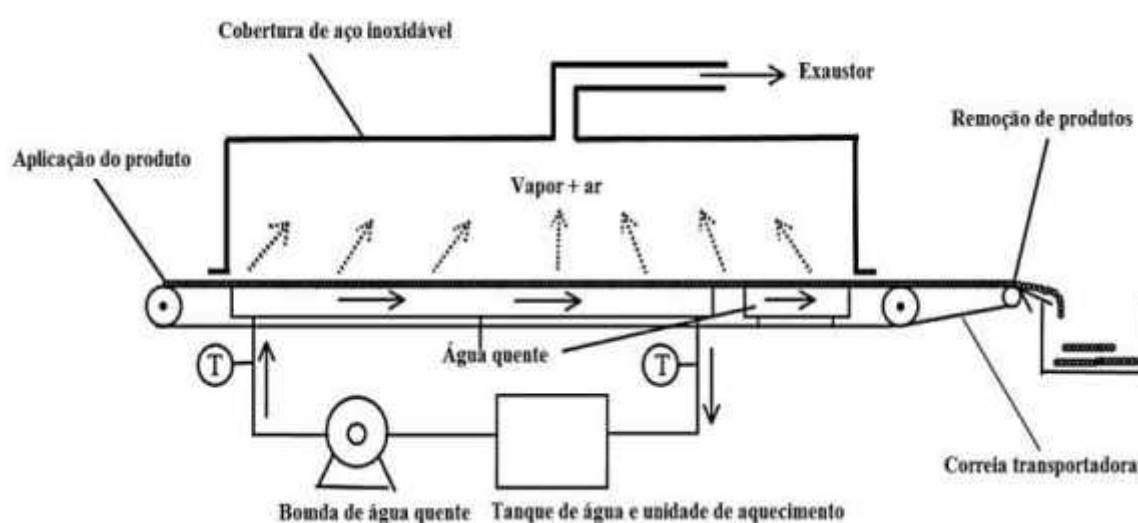
3.2.1. Janela de Refratância (*Refractance Window*)

O processo de secagem por janela de refração ou *refractance window* (RW) foi patenteado por Magoon (1986) e introduzido comercialmente pela empresa MCD Technologies em 2000. Neste sistema, utiliza-se a água como condutora de calor, a qual transmite o mesmo ao produto durante todo o processo de secagem. O processo de RW pode reduzir diversos impactos da secagem sobre o sabor, cor e nutrientes dos alimentos em relação aos métodos convencionais, a depender das características do material e das condições de secagem. Estudos tem mostrado que este método pode ser uma alternativa favorável à

liofilização, secagem em tambor e *spray drying*, principalmente na produção de pós e flocos (Parmar e Dhamsaniya, 2023).

Nesta metodologia, uma fina camada do material é colocada uniformemente sobre o filme de poliéster transparente especial (*Mylar®*) que se encontra sob um reservatório que contém água quente ou outro líquido aquecido, utilizando a refração da água para criar uma espécie de janela de secagem quando a energia infravermelha é transmitida através do poliéster. Esta é gerada pelo contato do produto com o poliéster, permitindo a eficiente transferência de calor para a amostra (Calí-Sánchez et al., 2020; Santos et al., 2022; Bernaert et al., 2019). Este líquido transmite então seu calor ao produto por condução, convecção e radiação, o qual passa diretamente ao alimento através do filme. É uma técnica facilmente adaptável e adequada para diversos tipos de produtos líquidos como polpas de frutas, legumes e ervas, pós, filmes comestíveis (Nindo; Tang, 2007; Silva et al., 2023; Kumar et al., 2024). A Figura 5 contém um esquema do processo de secagem por *refractance window*.

Figura 5 – Esquema de secagem por janela de refratância.



Fonte: Adaptado de Nindo e Tang (2007).

Entre os métodos de secagem popularmente conhecidos, a janela de refratância é considerada uma técnica relativamente nova e oferece diversas vantagens, como um tempo mais curto para secagem, melhor preservação de compostos bioativos e alta eficiência energética e térmica (Martínez-Sánchez et al., 2024; Raghavi, Moses, Anandharamakrishnan, 2018; Zotarelli et al., 2015). É utilizado em pressão atmosférica e a temperaturas mais baixas se comparado a outros secadores, tendo se destacado por reduzir o consumo elétrico e reter

eficazmente compostos bioativos sensíveis ao calor, como antioxidantes, pigmentos e vitaminas (Gautam; Abdul, 2020; Waghmare, 2021).

Segundo Zotarelli et al. (2015), o processo utilizando a secagem por RW em manga se mostrou excelente, tornando o método uma técnica competitiva e promissora no tratamento de frutas. Neste estudo evidenciou-se que amostras com espessura próxima a 3 mm resultaram em melhores condições na secagem para polpa de manga.

No estudo de Herman-Lara et al. (2024), investigou-se a secagem de beterraba por janela de refratância em comparação à métodos convencionais sendo estufa de bandejas e leito fixo a 60, 75 e 85 °C. Eles utilizaram fatias com 1 mm de espessura de beterraba, avaliando cinética de secagem, cor, textura, compostos bioativos (TPC, TFC) e capacidade antioxidante. Observou-se que na secagem em janela de refratância obteve-se um menor tempo de secagem e maior retenção da qualidade – cor e firmeza mais próximas do produto fresco, além disto o maior conteúdo de TPC e capacidade antioxidante em temperaturas mais baixas. De forma geral mostrou-se que a secagem por janela de refratância é eficaz na secagem de beterraba com perdas mínimas de qualidade em comparação aos métodos tradicionais.

Segundo Dadhaneeya et al. (2023), a secagem por janela de refratância apresentou desempenho superior na retenção da qualidade nutricional quando comparada aos métodos de secagem em estufa, a vácuo e liofilização para a pitiaia, isto avaliando o conteúdo fenólico, atividade antioxidante, cor e textura dos produtos secos. Afirmaram que o tempo de secagem foi menor para o método de secagem por janela de refratância e preservou melhor os TPC apresentando o valor de 182 mg de ácido gálico/100 g de amostra seca.

Na pesquisa de Gautam e Abdul (2020), secaram a casca de pitiaia vermelha comparando os métodos de secagem em janela de refratância, por ar quente e liofilização. Utilizaram a espessura de 3,5 mm para polpa com a temperatura da água 95 °C. A secagem em janela de refratância apresentou o menor tempo de secagem, sendo de 42 minutos, um tempo bem mais rápido que os outros métodos. Em termos de cor a liofilização apresentou o melhor resultado, com coloração mais viva, porém em comparação a secagem por ar quente o resultado para o método de janela de refratância obteve o resultado bem superior.

Portanto, como pôde ser visto, esta técnica vem sendo amplamente estudada e aplicada, evidenciando sua eficiência e potencial em melhorar a qualidade e a segurança dos alimentos. Embora existam variados estudos que enfatizem os benefícios do consumo de beterraba, pouquíssimos estudos relacionam a secagem do cultivar em janela de refratância.

Um dos estudos que apresenta a secagem de beterraba em janela de refratância é o de Martínez-Sánchez et al., (2024) e Alves (2024).

O estudo de Martínez-Sánchez et al. (2024), apresentou teor de umidade inicial da beterraba fresca de 10,76 g de água/g de sólidos secos. Foram comparados os resultados para secagem em janela de refratância e secagem em bandeja. Evidenciou-se que a secagem em janela de refratância foi mais rápida do que a em bandejas, principalmente com o material semissólido em comparação ao em fatias. Para os parâmetros de cor teve-se para a beterraba fresca L^* 22,22 – 26,29; C^* 19,31 – 2,24; H° 19,05 – 16,80, para o material seco em janela de refratância obtiveram os valores de L^* 23,70 – 25,46; C^* 18,48 – 1,90; H° 17,47 – 16,81; ΔE de 3,24 – 0,91; respectivamente para fatiada e semissólido. Já para a secagem em bandeja obteve-se L^* 16,57 – 19,40; C^* 11,48 – 9,96; H° 15,95 – 15,69 e ΔE de 9,66 – 10,30; para a amostra fatiada e semissólido, respectivamente. O TPC foi dado em μg de ácido gálico/g extrato, sendo de 278,33 para o fresco, 275,67 e 278,00 para o janela de refratância, fatias e semissólido, 140,67 e 186,67 para o seco em bandeja. O TFC μg /g extrato 161,33 para o material fresco, 157,00 e 158,00 para o seco em janela de refratância, e para o seco em bandeja foi de 147,67 e 141,00, fatias e semissólido respectivamente.

O estudo de Alves (2024), apresenta análises realizadas com configurações de aditivos na secagem utilizando 20, 25 e 30% de amido modificado ou maltodextrina, expondo as diferenças na coloração dos pós por análise em photoshop® 19, regressão linear e regressão polinomial para os parâmetros L^* , a^* e b^* , valores para cinzas, granulometria, atividade de água que variou de 0,31 a 0,34, brix, pH, rendimento, termogradia infravermelho e cinética de secagem.

Pelos benefícios que a secagem em janela de refratância proporciona, este estudo utilizou este método para a secagem da beterraba, visando manter ao máximo suas características. O método preserva melhor a cor, os compostos bioativos e nutrientes sensíveis ao calor, é mais rápido que outros e eficiente. Além disso, vem se mostrando um método promissor para secagem de alimentos.

4. METODOLOGIA

4.1. Material

Para o presente estudo, utilizou-se beterrabas (*Beta vulgaris* L.) adquiridas em comércio local na cidade de Patos de Minas, Minas Gerais em março de 2025.

Definiu-se que as mesmas seriam secas na forma de “purê”, cujo preparo foi realizado com o fatiamento das beterrabas e processamento em liquidificador industrial de 3 L (da marca Camargo) (Figura 6) com a adição de água destilada, na razão de 200 mL para cada 3 kg de beterraba. Visando o aproveitamento integral e menor desperdício possível do material, as partes desprezadas foram apenas o colo. Ao final a amostra foi homogeneizada e armazenada em copos descartáveis de 180 mL, envoltos em papel alumínio, contidos em sacos plásticos individualmente fechados com fita crepe, os quais foram então congelados (Ultrafreezer, IULT 335 D, Intrel, -60 °C) ficando retidos em saco plástico escuro para evitar contato direto com a luz e possíveis perdas de seus componentes (Figura 7).

Figura 6 – Liquidificador usado para o processamento das beterrabas.



Fonte: autor.

Figura 7 – Preparação da amostra para secagem no RW.





Fonte: Autor, (a) Beterraba fatiada, (b) Purê de beterraba após homogeneização e (c) Acondicionamento dos purês individualmente envoltos no papel alumínio e sacos plásticos fechados com fita crepe.

4.2. Aparato Experimental de Janela de Refratância (*Refractance Window* – RW)

Para a realização da secagem no RW, foi utilizado o esquema representado na Figura 8. O dispositivo consistiu de um reservatório de alumínio com dimensões de 28 x 20 cm e profundidade de 8 cm, localizado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas. Este segue o mesmo princípio operacional do sistema industrial para secagem por RW. Ao topo do reservatório, foi fixado um filme Mylar® tipo D com espessura de 0,25 mm, de forma que sua face interna permanecesse em contato direto com água quente oriunda de um banho termostático (TECNAL, modelo TE-2005, Brasil), enquanto a face externa servisse como suporte para o material a ser seco.

Figura 8 – Secador de janela de refratância.

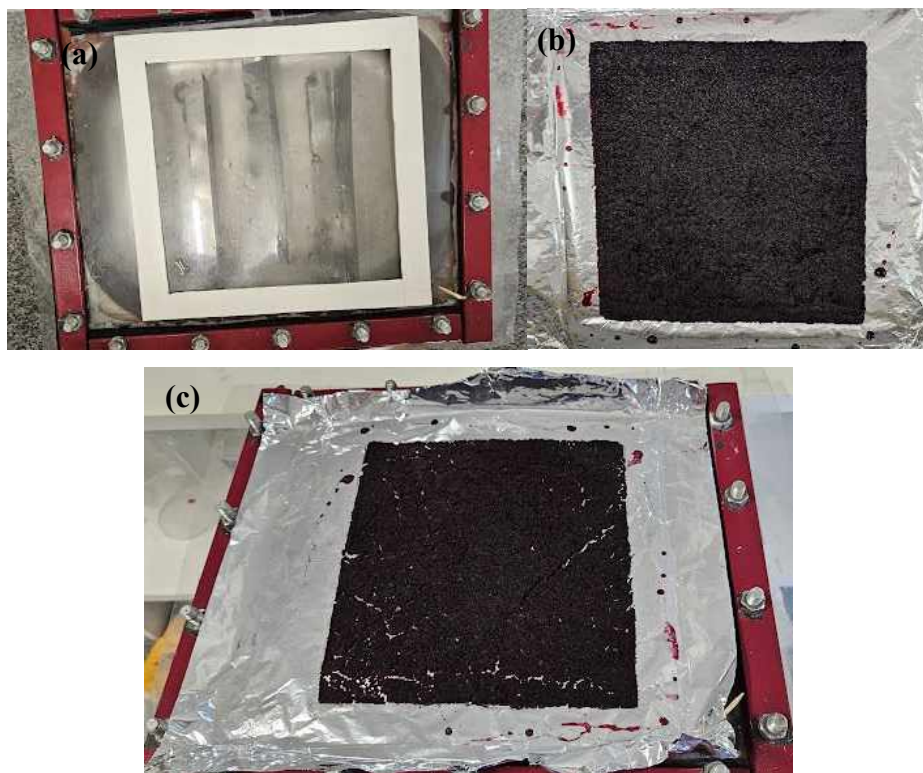


Fonte: Oliveira, 2024.

A literatura apresentou a possibilidade que as amostras de beterraba poderiam aderir fortemente ao filme do equipamento, o que dificultaria sua remoção para as análises posteriores (Desmorieux et al. 2010; Ortiz Jerez e Ochoa-Martínez; 2015). Pensando em contornar este problema, optou-se por colocar o material sobre uma lâmina de alumínio. Utilizou-se também sobre a lâmina de alumínio, uma pequena quantidade de desmoldante culinário (ICEBERG CHEF), visto que testes preliminares indicaram que sem sua aplicação seria difícil a remoção do material de sua superfície. O desmoldante possui a seguinte lista de ingredientes: óleo vegetal de soja, glazeante cera de carnaúba e emulsificante: lecitina de soja, todos de grau alimentício, e já havia sido previamente utilizado com ótimos resultados na secagem de pitaya neste mesmo equipamento (Oliveira, 2024).

Segundo Desmorieux et al. (2010), Ortiz Jerez e Ochoa-Martínez (2015) e Silva et al., (2024) a presença da lâmina de papel alumínio não compromete de maneira significativa a troca térmica devido à sua alta condutividade. Para a garantia de espessura uniforme de 3,00 mm para as amostras utilizou-se uma moldura de acrílico, representada na Figura 9.

Figura 9 – Distribuição do purê para a secagem.



Fonte: Autor, (a) Moldura de acrílico sobre o janela de refratância, (b) Amostra pronta para secagem e (c) Amostra durante a secagem.

Após estas etapas, com o equipamento já conectado ao banho termostático, a amostra era colocada sobre o filme, aquecendo-o e assim, iniciando a transferência de calor para a beterraba. A Figura 10 mostra a entrada e saída de água no secador.

Figura 10– Entrada e saída de água no secador.



Fonte: Oliveira, 2024.

Após os testes preliminares, elaborou-se um Planejamento de Composto Central Rotacional (PCC) com $\alpha = 1,4142$ e 2 réplicas no ponto central, totalizando 10 experimentos. O PCC teve como objetivo analisar o efeito de duas variáveis independentes distintas na secagem, sendo a temperatura da água (°C) e o tempo de secagem (horas). Foram analisadas como variáveis resposta os dados de atividade de água, umidade final, teor de compostos fenólicos totais (TPC), teor de flavonoides totais (TFC), teor de betalaína (TB) e cor. Os dados obtidos foram tratados com o uso do *software* STATISTICA® 7.0, adotando o nível de significância de 10% ($\alpha = 0,10$) para validação dos parâmetros significativos. Os níveis de variáveis independentes utilizados nos experimentos do PCC estão expostos na Tabela 1. Foram utilizadas cerca de 100 g de amostra de beterraba em cada experimento.

Tabela 1 – Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da beterraba em RW ($\alpha = 1,4142$).

Variáveis	-1,4142	-1	0	1	+ 1,4142
Temperatura (°C)	55,9	60	70	80	84,1
Tempo (h)	2,3	2,5	3,0	3,5	3,7

Fonte: Dados da pesquisa.

Ressalta-se que a matriz de planejamento do PCC realizado, teve a definição das faixas de variação entre os limites superiores e inferiores para as variáveis independentes estudadas realizada a partir de dados da literatura científica e através da realização dos testes preliminares. A Tabela 2, apresenta as condições utilizadas para cada secagem em termos de níveis reais e codificados nos 10 experimentos.

Tabela 2 – Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para a secagem da beterraba em RW.

Experimentos	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
	Temperatura (°C)	Tempo (h)		
1	60,0	2,5	-1,0000	-1,0000
2	60,0	3,5	-1,0000	1,0000
3	80,0	2,5	1,0000	-1,0000
4	80,0	3,5	1,0000	1,0000
5	55,9	3,0	-1,4142	0,0000
6	84,1	3,0	1,4142	0,0000
7	70,0	2,3	0,0000	-1,4142
8	70,0	3,7	0,0000	1,4142
9	70,0	3,0	0,0000	0,0000
10	70,0	3,0	0,0000	0,0000

Fonte: Dados da pesquisa.

4.3. Análises realizadas

Avaliou-se as propriedades da beterraba através da realização de uma série de análises, sendo elas: atividade de água, cor, umidade e presença de compostos bioativos. Estes foram analisados tanto para o material *in natura* quanto para o material seco.

4.3.1. Atividade de água e umidade

A atividade de água (a_w), foi determinada pelo equipamento de atividade de água (*Aqualab* PRE Dewpoint) no qual, por meio de um sistema de controle de temperatura integrado a um sensor de infravermelho, foram fornecido as leituras de a_w das amostras. Este aparelho utiliza o método de ponto de orvalho para fazer a medição. Neste método, a amostra é colocado dentro de uma câmara hermética, onde a temperatura é gradualmente reduzida.

Durante a análise, o equipamento faz um monitoramento constante da pressão de vapor dentro da câmara, e quando a temperatura atinge o nível em que o vapor de água presente na amostra começa a condensar, o aparelho identifica o momento como o ponto de orvalho. Esse ponto está diretamente relacionado à atividade de água da amostra. A partir da temperatura em que ocorre esta condensação, o equipamento calcula o valor da atividade de água em uma faixa de 0,000 a 1,000 e apresenta o resultado em seu visor (Chen et al., 2021).

Se a atividade de água é igual a 1,000, toda a água está disponível (100%) para suportar o crescimento microbiológico, reações químicas e enzimáticas. Visando a preservação dos produtos secos, o recomendado pela literatura é manter a atividade de água na faixa de 0,300 a 0,500. Nesta faixa a oxidação lipídica, mudanças enzimáticas e químicas são minimizadas e o crescimento microbiano é interrompido (Chen; Patel, 2008; Bhandari; Adhikari, 2008). A Figura 11 representa o equipamento utilizado para medir a atividade de água das amostras.

Figura 11 – Aqualab PRE Dewpoint.



Fonte: Autor.

O teor de umidade foi determinado pelo método de estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas, de acordo com a *Association of Official Analytical Chemist* – AOAC (1995). Para tal foi usada a estufa de convecção forçada (Quimis, modelo Q314M243, Brasil). A Figura 12 mostra a estufa utilizada para a análise de umidade. A umidade das amostras, em base úmida, foi calcula pela Equação 1:

$$M = \frac{M_{su} - M_{ss}}{M_{su}} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo: M = é a umidade do produto em base úmida (%);

M_{su} = Massa de sólido úmido;

M_{ss} = Massa de sólido seco.

Figura 12 – Estufa de convecção forçada.



Fonte: Autor.

4.3.2. Análise de compostos bioativos

A extração para quantificação dos compostos bioativos das amostras foi feita utilizando metanol ou água destilada, conforme a metodologia específica abordada para cada composto.

Na determinação dos teores de fenólicos e flavonoides totais, utilizou-se como extrator o metanol. A amostra foi misturada com metanol em tubo Falcon com tampa e agitada em um vórtex (VORTEX BASIC K45) por cerca de 3 minutos e posteriormente armazenada em local escuro por 1 hora, permitindo uma extração mais eficiente dos compostos presentes. Por fim, a amostra foi filtrada utilizando filtro de papel (Melitta, nº102) para separação dos sólidos e obtenção de um extrato limpo, que foi utilizado na realização das análises de teores fenólicos e flavonoides totais. Já para as betalaínas utilizou-se como extrator água destilada, sendo utilizado o fator de diluição de 0,0333 para o *in natura* e para as amostras secas o fator foi de 0,0667.

4.3.2.1. Teor de Compostos Fenólicos Totais (TPC)

Para a determinação de teor de compostos fenólicos totais foi aplicado o método de Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como padrão de acordo com Singleton et

al., (1999) e leitura por espectrofotômetro (IL-226, Ioland) na absorvância à 622 nm. Os resultados da análise foram expressos em mg de ácido gálico / 100 g de amostra em base seca.

4.3.2.2. Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Para a determinação de teor de flavonoides totais aplicou-se o método colorimétrico, conforme Zhishen et al., (1991), com leitura em espectrofotômetro na absorvância de 450 nm. Neste, utiliza-se o cloreto de alumínio (AlCl_3) como agente de deslocamento para diminuição da interferência de outros compostos na leitura de absorção da amostra. A rutina ($\text{C}_{27}\text{H}_{30}\text{O}_{16}$) foi utilizada como padrão para obtenção da curva de calibração e os resultados foram apresentados em mg de rutina /100 g de amostra em base seca.

4.3.2.3. Teor de Betalaínas (TB)

O teor de betalaínas totais foi obtido a partir da adaptação do método de Nilson (1970). Este parte da leitura realizada por espectrofotômetro das amostras no comprimento de onda de 538 e 480 nm para betacianinas e betaxantinas, respectivamente. O teor de betalaína em mg/L pode ser determinado a partir da Equação 2:

$$TB = \frac{(A*DF*MM*1000)}{\epsilon*l} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo: A (nm) = valor de absorvância;

DF = fator de diluição;

$MM \left(\frac{g}{mol} \right)$ = massa molar;

$\epsilon \left(\frac{L}{mol*cm} \right)$ = absortividade molar;

l (cm) = caminho óptico da cubeta.

Para a massa molar foi adotado os valores de 550 g/mol para as betacianinas e de 339 g/mol para as betaxantinas. Para a absorvidade molar considerou-se os valores de 60000 e 48000 L/mol.cm, respectivamente (Hipólito et al., 2020). O caminho óptico da cubeta foi de 1,24 cm. A equação 2 foi aplicada com intuito de determinar os valores para betacianinas e betaxantinas, e a soma delas adquiriu-se o teor de betalaínas totais para cada um dos 10 experimentos.

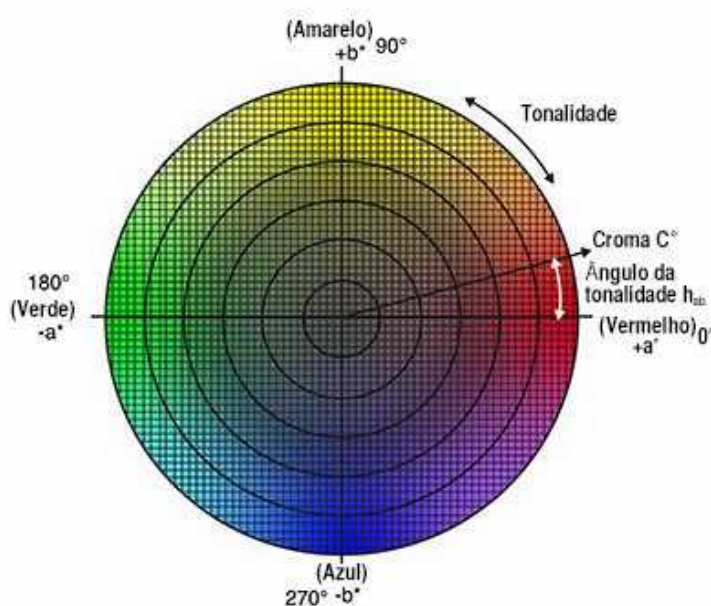
4.3.3. Cor instrumental

Os colorímetros são equipamentos responsáveis pela leitura da cor avaliando-a de forma similar à percepção humana. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE), afirma que a cor é representada em um espaço tridimensional, onde cada cor é identificada por um ponto específico neste espaço, sendo as coordenadas do mesmo: L^* , a^* e b^* .

- O eixo L^* representa a luminosidade, variando de 0 a 100 (preto a branco), respectivamente.
- O eixo a^* indica uma escala de tonalidades variando de vermelho (+a) a verde (-a).
- O eixo b^* seria a escala de tonalidades de amarelo (+b) a azul (-b).

O sistemas de coordenadas polares retangulares para a representação de cor utiliza a escala CIE L^* , C^* e h^* , representado na Figura 13. A cor é descrita tridimensionalmente pelos parâmetros de luminosidade (L^*), saturação (C^*) e tonalidade (h^*) (Cordeiro et al., 2015).

Figura 13 – Representação da cor em um sistema de coordenadas CIE.



Fonte: Minolta, 2023.

Foi utilizado para a análise de cor das amostras o colorímetro digital modelo Konica Minolta CR-400/410. A amostra *in natura* foi descongelada por 3 horas, a leitura foi realizada em temperatura ambiente e após a secagem repetiu-se a leitura da mesma forma. A Figura 14 mostra o colorímetro utilizado para a realização de leitura da cor dos materiais.

Figura 14 – Colorímetro analisando amostra *in natura*.



Fonte: Autor.

A partir dos valores observados no visor do equipamento (L^* , a^* e b^*) foram calculados os parâmetros croma de saturação de cor (C^*), o ângulo de tonalidade cromática (ângulo hue, H^0), onde C^* representa a intensidade de cor ou saturação e H^0 onde 0° (retrata o vermelho puro), o 90° (amarelo puro), 180° (verde puro) e 270° (azul puro). Foi calculado o valor que determina a diferença total da cor da amostra, este em relação ao padrão (ΔE). Para a definição destes parâmetros, aplicou-se as Equações 3 a 5, respectivamente.

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

$$H^0 = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^1 - L^*)^2 + (a^1 - a^*)^2 + (b^1 - b^*)^2} \quad (\text{Equação 5})$$

4.3.4. Cinética de Secagem

Foram realizadas secagens para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, onde o material foi pesado até que seu peso estabilizasse. Na primeira hora pesou-se de 10 em 10 minutos, na segunda hora a pesagem foi realizada em intervalos de 20 minutos e a partir da terceira hora o intervalo passou para 30 minutos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Amostra *in natura*

As análises de caracterização da *Beta vulgaris* L. foram realizadas a título de avaliação e comparação dos resultados obtidos nas amostras *in natura* e após secagem, examinando os impactos da metodologia de secagem em janela de refração nas propriedades da raiz tuberosa. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da amostra *in natura*.

Tabela 3 – Resultados de caracterização da beterraba *in natura*.

Análise	Resultados
Umidade	87,19 ± 0,32%
Atividade de água (a_w)	0,990
Teor de Fenólicos Totais (TPC)	3824,34 ± 33,75 mg ácido gálico / 100 g ¹
Teor de Flavonoides Totais (TFC)	67,39 ± 0,77 mg rutina / 100 g ¹
Teor de Betacianinas	2611,84 ± 75,69 mg de betacianina / 100 g ¹
Teor de Betaxantinas	1342,32 ± 93,06 mg betaxantina / 100 g ¹
Teor de Betalaínas	3954,16 ± 17,37 mg betalaína / 100 g ¹
Cor – L*	22,50 ± 0,36
Cor – a*	2,84 ± 0,39
Cor – b*	1,56 ± 0,10
Cor – C*	5,27
Cor – H°	28,78

Fonte: Dados da pesquisa, ¹base seca.

Foi observada para a beterraba *in natura* um elevado teor de umidade, de 87,19 ± 0,32 % e atividade de água (a_w) próxima de 1,000, o que expressa e confirma uma quantidade alta de água livre e alto potencial para deterioração. Os valores encontrados consistem com os apresentados pela literatura, nos estudos publicados em 2024 por Staniszewska et al. e Nowacka et al., onde foram apresentadas umidades de aproximadamente 86-87% e 85,1%, respectivamente para a amostra *in natura*, enquanto o segundo estudo obteve uma atividade de água (a_w) de 0,997.

A quantidade esperada de TPC para a beterraba *in natura* segundo a literatura pode variar de 500 a 2400 mg de ácido gálico / 100 g de material seco. No material utilizado neste trabalho foi encontrado um teor de 3824,34 ± 33,75, o que é consideravelmente superior ao expresso nos estudos. Pode-se citar alguns destes trabalhos, como o de Guildiken et al.,

(2016), que obtiveram 2400 ± 620 mg ácido gálico / 100 g de amostra seca, Šuput et al., (2024) com 300-650 mg ácido gálico / 100 g de amostra seca e Raupp et al., (2011) com $588,40 \pm 75,96$ mg ácido gálico / 100 g de amostra seca. A razão para tal variação pode estar nas condições de solo, as partes utilizadas na secagem, plantio, clima e cultivo que levam a uma variação na presença desse composto nos alimentos (Guldiken et al., 2016).

Segundo artigos encontrados na literatura, o teor de flavonoides totais (TFC) presente na beterraba corresponde a uma faixa de 126-289 mg rutina/100 g de material seco, Baião et al., (2017) obtiveram 126 mg rutina/100 g de material seco; El-Beltagi et al. (2022), 234 mg rutina/100 g de amostra seca; e Guldiken et al., (2016) 289 ± 53 mg rutina/100 g de material. Entretanto, o valor de TFC encontrado no presente estudo foi inferior aos referenciados sendo de $67,39 \pm 0,77$ mg rutina/100 g, isto pode se dar, mais uma vez, em decorrência do solo e condições ambientais no cultivo, o que pode justificar em contrapartida o TPC apresentar-se superior, dada a elevada concentração de ácidos fenólicos na beterraba, bem como o método de quantificação Folin-Ciocalteu que possui sensibilidade a uma ampla gama de fenóis enquanto o método de quantificação do TFC é mais seletivo, podendo resultar em menor detecção (Kujala et al., 2001; Platosz et al., 2020).

Segundo Vitti et al., (2003), o valor esperado de betalaínas para a beterraba *in natura* varia, mas o encontrado foi de 35 mg de betalaína/100 g de amostra seca e no estudo de Bovi et al., (2019) obteve-se $31,42 \pm 0,66$ mg de betalína/100 g de amostra, Pandita et al., (2020) apresentou que a beterraba fresca pode conter entre 450–500 mg de betalaína por amostra de 100 g. Neste estudo o valor encontrado foi de $3954,16 \pm 17,37$ mg betalaína/100 g de massa seca, valor bastante superior aos relacionados com a literatura, uma possível justificativa pode ser a presença da casca junto às amostras, que como já foi dito anteriormente possui a maior quantidade desse composto.

Para os parâmetros de cor, os estudos apontam variações. Mocanu et al., (2020) apresentaram valores de L^* de $21,16 \pm 0,30$, a^* de $5,00 \pm 0,20$, b^* de $1,45 \pm 0,04$, C^* de $5,21 \pm 0,20$ e H° $16,17 \pm 0,31^\circ$ e Kaba et al., (2024) obtiveram para L^* $17,28 \pm 2,10$, a^* $14,51 \pm 3,43$, b^* $2,52 \pm 0,90$. Já os valores obtidos neste trabalho foram de L^* $22,50 \pm 0,36$; a^* $2,84 \pm 0,39$; b^* $1,56 \pm 0,10$; C^* $5,27$ e H° $28,78$; cujos valores compatíveis com os demais estudos, sendo a coordenada de cromaticidade a^* obtida a que menos se encaixa com os valores da literatura.

5.2. Aspecto Geral e Cinética de Secagem

De maneira geral, a beterraba desidratada em janela de refratância apresentou aspecto de pó e uma cor arroxeada, com a granulometria semelhante ao açúcar cristal. Nos experimentos de 2,5 horas a 60 °C e 2,3 horas à 70 °C, estes pós se apresentaram mais úmidos, assim seus aspectos não foram um pó uniforme, ficaram alguns pedaços aglomerados.

O purê não ficou aderido durante e após a secagem à lâmina de alumínio devido a utilização do desmoldante. Os experimentos que resultaram em pós se soltaram como uma única “placa” da lâmina de papel alumínio, esta foi “quebrada” em frações menores para maceração em almofariz e pistilo, assim obtendo-se um pó uniforme que foi armazenado e posteriormente analisado. Por outro lado, nos pós mais úmidos, o comportamento foi semelhante apesar de ter ficado aglomerado em algumas partes do material, o que dificultou a obtenção do pó uniforme, assim o resultado foi um pó heterogêneo, com pedaços do purê grudado. Na Figura 15 têm-se a representação do pó após a maceração. O resultado visual reforça o quão relevante é a utilização deste método para fins de pigmento.

Figura 15 – Pó de beterraba após maceração.

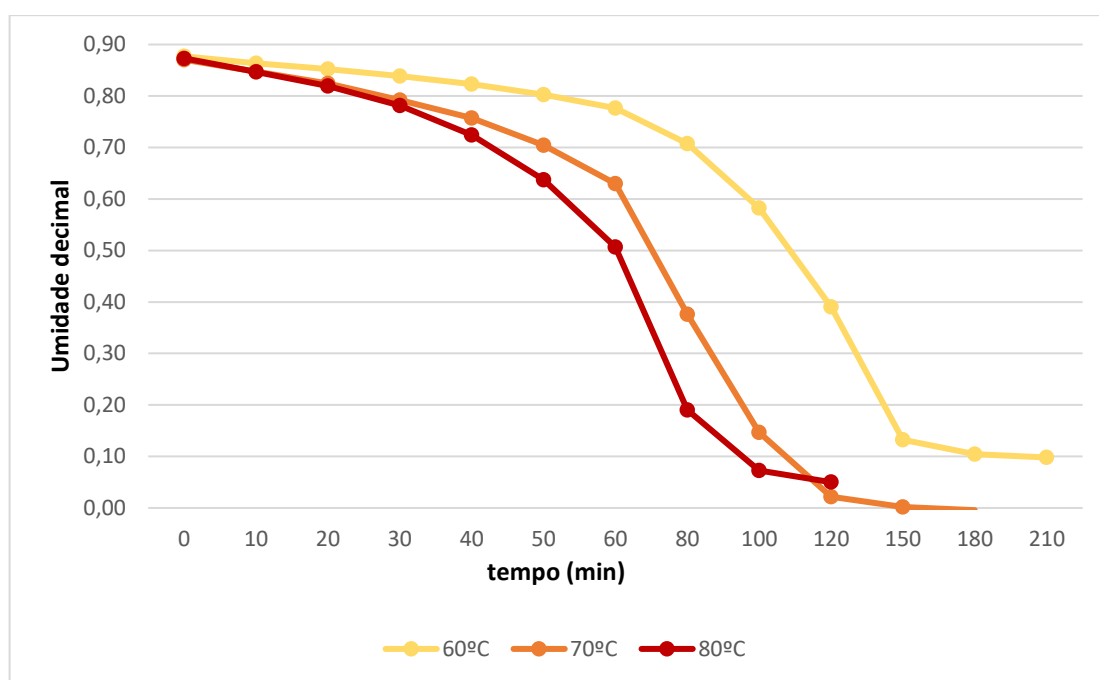


Fonte: Autor.

Na Figura 16 é apresentada a curva de cinética de secagem (umidade x tempo) obtida em testes preliminares realizados à 60, 70 e 80 °C. O intuito desses testes foi averiguar o comportamento de secagem do material e ter uma estimativa de tempo que o mesmo levaria para atingir níveis reduzidos de umidade. Observando os dados expressos da cinética, nota-se que o comportamento nas três temperaturas é o esperado visto que quanto menor a temperatura maior será o tempo de secagem, por isto que a secagem a 60°C foi a mais

demorada. Além disso, o comportamento foi bastante uniforme, indicando que a metodologia usada foi eficiente na coleta dos pontos.

Figura 16 – Cinética de secagem da beterraba por janela de refratância para as temperaturas de 60, 70 e 80°C.



Fonte: Dados da pesquisa.

Assim, a partir dos ensaios de cinética de secagem realizados, elaborou-se o Planejamento de Composto Central Rotacional (PCC), com os dados apresentados anteriormente nas Tabelas 1 e 2. Este teve como objetivo avaliar o efeito de duas variáveis independentes distintas no processo de secagem em janela de refratância, sendo elas: temperatura da água (°C) e tempo de secagem (min), para posteriormente analisar os dados de umidade final, atividade de água (a_w), teor de compostos fenólicos totais (TPC), teor de flavonoides totais (TFC), cor e teor de betalaínas (TB).

5.3. Análises Realizadas

Seguindo o PCC, após as secagens para cada um dos 10 experimentos foram obtidos valores de cor de umidade final e atividade de água (Tabela 4), teor de betacianinas, teor de betaxantinas, o teor de betalaínas, teor de fenólicos totais (TPC) e teor de flavonoides totais (TFC) (Tabela 5).

Tabela 4 – Resultados para as variáveis de umidade e atividade de água (a_w) da beterraba após secagem em janela de refração.

Experimentos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T (°C)	60,0	60,0	80,0	80,0	55,9	84,1	70,0	70,0	70,0	70,0
t (h)	2,5	3,5	2,5	3,5	3,0	3,0	2,3	3,7	3,0	3,0
Umidade (%)	17,00	9,70	7,81	8,01	14,20	7,23	10,64	8,10	8,09	8,65
a_w	0,585	0,302	0,211	0,282	0,492	0,189	0,253	0,229	0,279	0,194

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5 – Resultados para dos teores de betacianina, betaxantina, betalainada beterraba após secagem no RW.

Experimentos	T (°C)	t (h)	β -cianina	β -xantina	β -laína	TPC	TFC
1	60,0	2,5	6,1598	38,56	44,72	1708,80	65,52
2	60,0	3,5	6,6509	31,15	37,80	1923,97	95,14
3	80,0	2,5	6,1015	41,69	47,79	2347,99	84,52
4	80,0	3,5	5,9407	41,64	47,58	2688,24	83,03
5	55,9	3,0	4,8387	30,42	35,26	1801,98	72,64
6	84,1	3,0	5,7212	40,46	46,18	2326,89	81,53
7	70,0	2,3	5,7225	38,54	44,26	2094,28	75,59
8	70,0	3,7	5,3679	37,01	42,38	1954,89	70,04
9	70,0	3,0	5,0225	33,38	38,41	1861,79	54,95
10	70,0	3,0	5,9416	39,51	45,46	2070,17	59,67

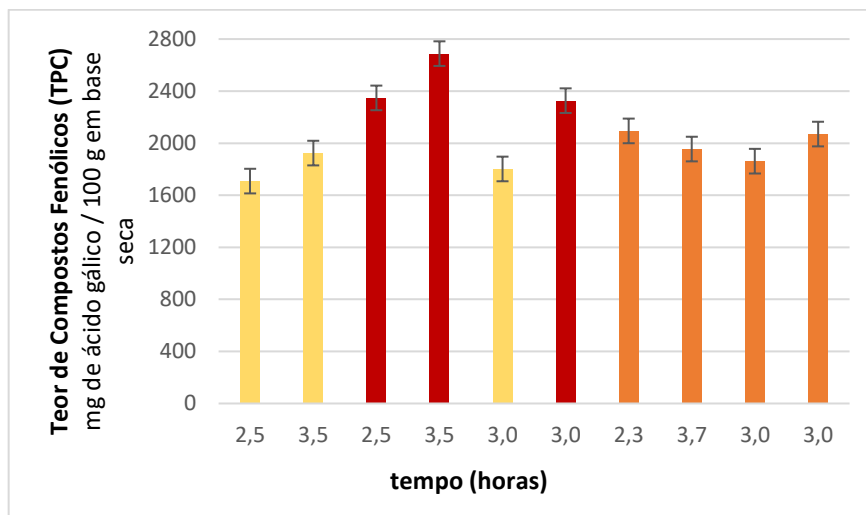
Fonte: Dados da pesquisa.

Além disso, através do *software* STATISTICA®, foram obtidas as equações de regressão e superfícies de resposta, para os teores de fenólicos totais, flavonoides totais, betalainas e para os parâmetros de cor, L^* , a^* e b^* , representados nas Figuras de 17 a 23.

5.3.1. Teor de Fenólicos Totais (TPC)

A Figura 17 expressa os valores obtidos de TPC em mg de ácido gálico/100 g de amostra seca para cada experimento realizado, de modo a facilitar a compreensão. O amarelo foi utilizado para temperaturas 60 e 54,9 °C, o vermelho para 80 e 84,1 °C e o laranja para 70 °C.

Figura 17 – Teor de Compostos Fenólicos Totais (TPC) após a secagem em janela de refratância.



Fonte: Dados da pesquisa, organizados do experimento 1 ao 10.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4 para a beterraba in natura e na Figura 17 referente ao teor de compostos fenólicos (TPC) após o processo de secagem, observa-se que os valores obtidos para as amostras processadas foram inferiores ao do material fresco ($3824,34 \pm 33,75$ mg de ácido gálico/100 g em base seca). Esse decréscimo indica que o TPC é sensível à técnica de secagem empregada, havendo degradação parcial dos compostos fenólicos durante o tratamento térmico.

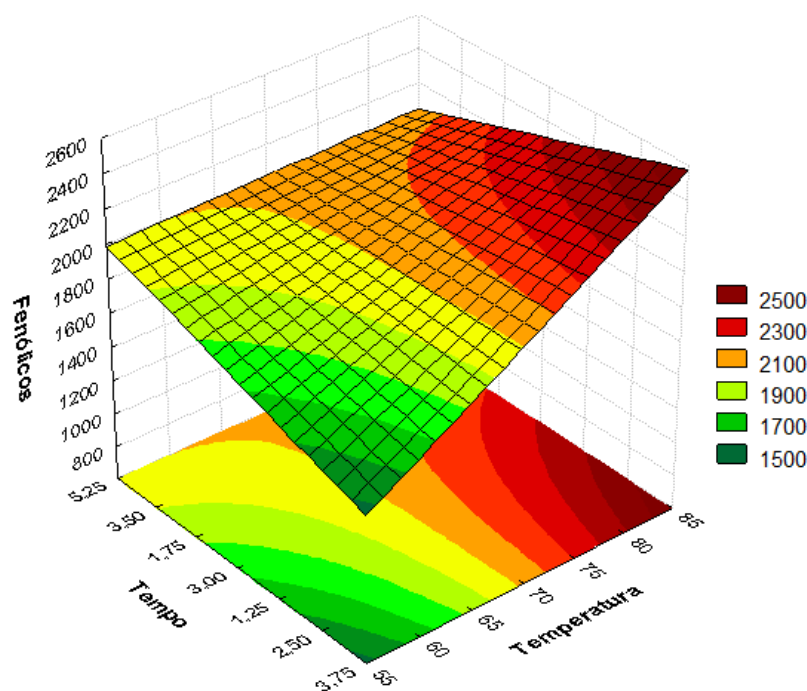
Avaliando os resultados obtidos, foi possível observar que as respostas superiores de teores desse composto foram encontradas nos experimentos com maiores temperaturas, sendo o melhor resultado de 2688,24 mg de ácido gálico/100 g de amostra seca, obtido na temperatura de 80 °C por 3,5 horas (Experimento 4), seguido por 2347,99 e 2326,89 mg de ácido gálico/100 g de amostra seca, na temperatura de 80°C por 2,5 horas e 84,1°C por 3,0 horas, Experimentos 3 e 6, respectivamente.

Enquanto o valor mais baixo foi obtido nos experimentos 1 e 5, com 60 °C por 2,5 horas e com 54,9 °C por 3,0 horas, sendo de 1708,80 e 1801,98 mg de ácido gálico/100 g de amostra seca, respectivamente. Algumas literaturas justificam as respostas superiores em temperaturas mais elevadas devido à intensificação da ruptura de estruturas celulares, uma maior liberação de TPC anteriormente ligados, e possível formação de fenóis livres por transformação térmica (Alide et al., 2020; Han et al., 2019).

De modo a facilitar a compreensão dos resultados, realizou-se o tratamento estatístico dos resultados, sendo obtida a Equação 6 ($R^2 = 0,8924$) e a superfície de resposta apresentada na Figura 18.

$$TPC = 2018,63 + 194,21T - 116,75T \cdot t \quad (\text{Equação 6})$$

Figura 18 – Superfície de resposta (TPC).



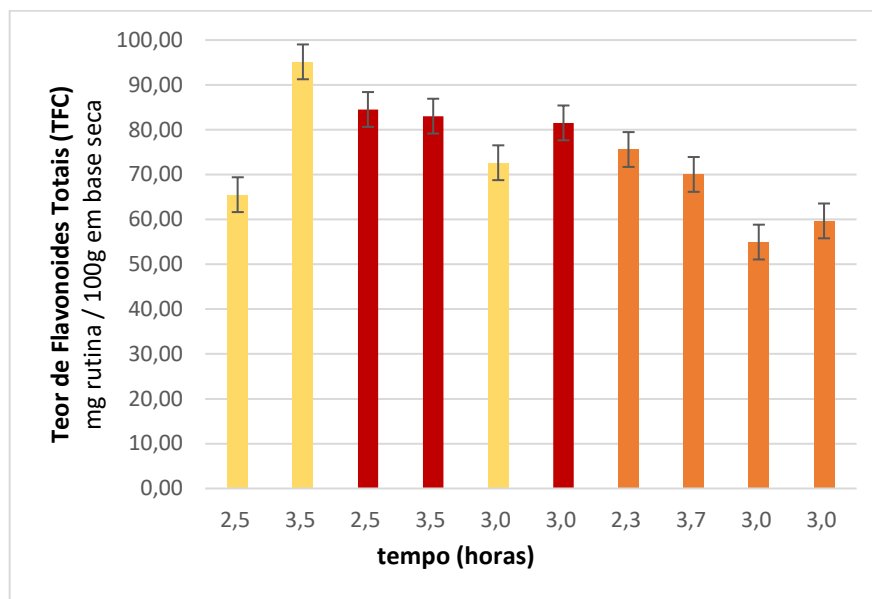
Fonte: Dados da pesquisa.

Para todas as equações estipuladas pelo *software* utilizou-se T para temperatura e t para tempo. Sendo a equação para TPC linear, influenciada tanto pela temperatura e tempo. A superfície de resposta evidencia que os melhores resultados foram obtidos nas temperaturas e tempos maiores de processos.

5.3.2. Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Na Figura 19 são apresentados os valores obtidos dos Teores de Flavonoides Totais (TFC), em mg de rutina/100 g de amostra seca, para os experimentos do PCC, mantendo a lógica das cores, onde o amarelo foi utilizado para temperaturas mais baixas (60 e 54,9 °C), o vermelho para as mais altas (80 e 84,1 °C) e o laranja para os valores intermediários (70 °C).

Figura 19 – Teor de Flavonoides Totais (TFC) após a secagem em janela de refratância.



Fonte: Dados da pesquisa, organizados do experimento 1 ao 10.

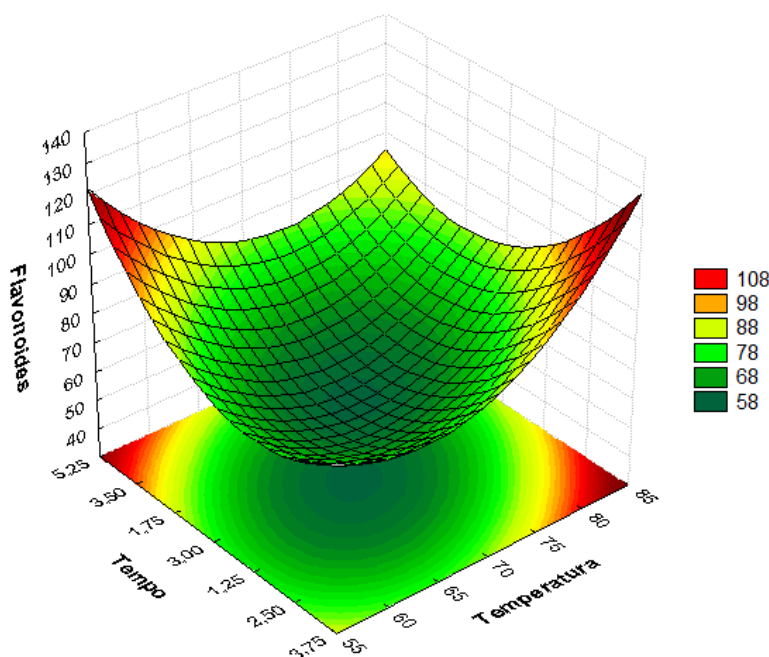
No caso, observou-se um aumento em alguns experimentos, o que pode ser justificado pela liberação de compostos ligados à matriz celular durante o processo de secagem, favorecendo a maior detecção desses metabólitos nos ensaios analíticos, quando comparado ao material *in natura*. Resultados semelhantes foram relatados por Dadhaneeya et al. (2023), que verificaram incremento nos teores de fenólicos e flavonoides em determinados métodos de secagem, explicando esse comportamento pela quebra da matriz vegetal e consequente disponibilização de compostos anteriormente ligados.

Analisando os resultados obtidos, observa-se que o maior TFC foi obtido na temperatura de 60 °C por 3,5 horas sendo de 95,14 mg rutina/100g em base seca (Experimento 2); seguido por 84,52 mg rutina/100g em base seca; 83,03 e 81,53 mg rutina/100g em base seca para os experimentos de 80 °C e 84,1 °C nos tempos de 2,5; 3,5 e 3,0 horas, respectivamente (Experimentos 3, 4 e 6). Comparado ao valor na amostra *in natura*, é perceptível que houve redução no TFC nos experimentos 1 (60 °C por 2,5 horas), 9 (70 °C por 3,0 horas) e 10 (70 °C por 3,0 horas), onde o TFC foi de 65,52; 54,95 e 59,67 mg de rutina/100 g de amostra seca. A literatura apresenta que na temperatura de 60 °C pode haver um aumento ou mantêm-se o valor de TFC, a 70°C uma leve redução, a 80°C redução mais evidente e em temperaturas > 85°C ocorre degradação mais acentuada, para a beterraba (Dorta et al., 2014; ElGamal et al., 2023).

A equação de regressão obtida pelo *software* está representada na Equação 7 com $R^2 = 0,9823$, assim como a Superfície de resposta (Figura 20).

$$TFC = 56,01 + 4,04T + 10,36T^2 + 21,49t^2 - 9,39T \cdot t \quad (\text{Equação 7})$$

Figura 20 – Superfície de resposta (TFC).



Fonte: Dados da pesquisa.

Na equação 7 observou-se o efeito linear e quadrático de T, o efeito de tempo linear e quadrático e o efeito combinado de temperatura e tempo para os resultados obtidos. Na superfície, os melhores resultados foram obtidos em dois extremos (altas temperaturas e altos tempos), baixas temperaturas e baixos tempos).

5.3.3. Teor de Betalaínas Totais (TB), betacianinas e betaxantinas

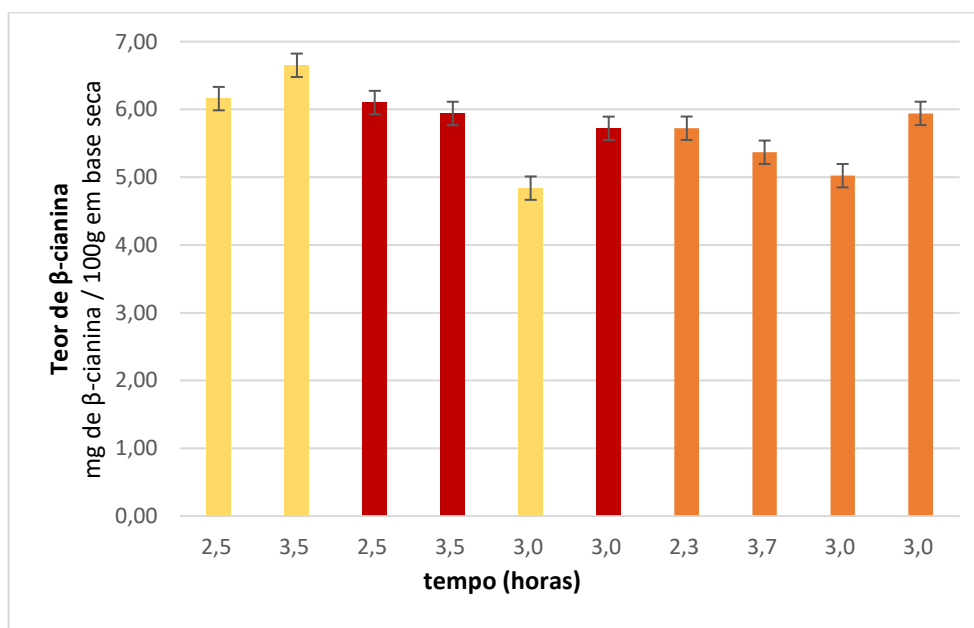
Na Figura 21 e na Figura 22 são apresentados os valores obtidos para os teores de betacianinas e betaxantinas nos experimentos realizados. De acordo com os resultados da Tabela 4, a beterraba *in natura* apresentou valores de $2611,84 \pm 75,69$ mg de betacianina/100 g e $1342,32 \pm 93,06$ mg de betaxantina/100 g (base seca), totalizando $3954,16 \pm 17,37$ mg de betalaínas/100 g.

Quando comparados aos valores obtidos após a secagem, observa-se uma redução nos teores de betacianinas na maioria dos experimentos, sugerindo que esses pigmentos apresentam alta sensibilidade às condições de processamento térmico, o que pode levar à

degradação parcial. Por outro lado, em relação às betaxantinas, embora alguns tratamentos tenham mantido valores próximos ao *in natura*, de modo geral também se verificou uma tendência de redução, ainda que em menor magnitude quando comparada às betacianinas (Sutor-Świezy et al., 2022; Taraseviciene et al., 2024).

Esse comportamento indica que, embora a técnica de secagem por janela de refratância seja reconhecida pela sua eficiência na preservação de compostos bioativos, ainda ocorrem perdas significativas de pigmentos termossensíveis como as betalainas. Esses resultados estão em consonância com estudos prévios que relatam a instabilidade térmica das betacianinas e betaxantinas, sendo as primeiras mais suscetíveis à degradação oxidativa e ao escurecimento durante o processamento (Sutor-Świezy et al., 2022; Taraseviciene et al., 2024).

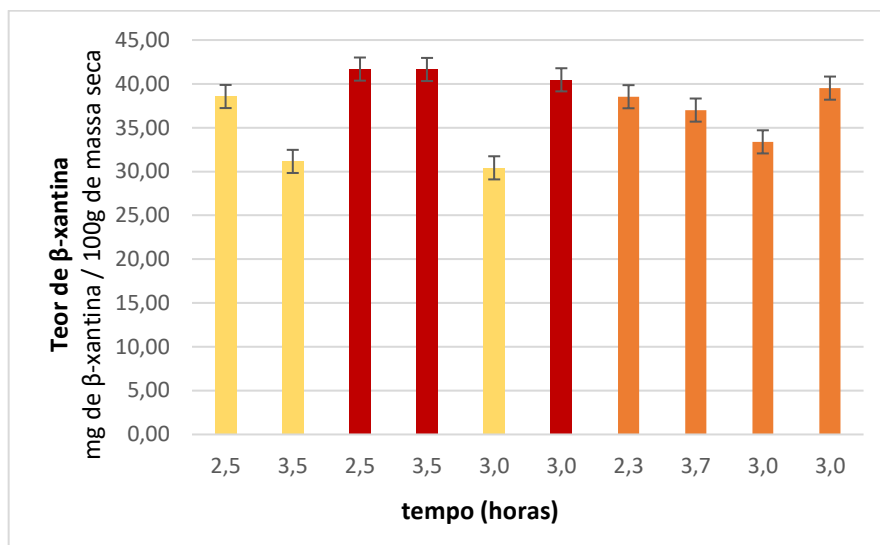
Figura 21 – Teor de β -cianina após secagem em janela de refratância.



Fonte: Dados da pesquisa, organizados do experimento 1 ao 10.

Pelos dados expressos na Figura 21 para os teores de β -cianina, nota-se que o experimento 2, 60 °C por 3,5 horas de secagem, obteve o maior resultado sendo 6,65 mg de β -cianina/100 g de amostra seca, seguido por 6,16; 6,10; 2,5 horas para ambos, 60 °C e 80 °C, os experimentos 1 e 3. O valor mais baixo foi de 4,84 mg de β -cianina/100 g de amostra seca, 3,0 horas a 60 °C, experimento 5.

Figura 22 – Teor de β -xantina após secagem em janela de refratância.



Fonte: Dados da pesquisa, organizados do experimento 1 ao 10.

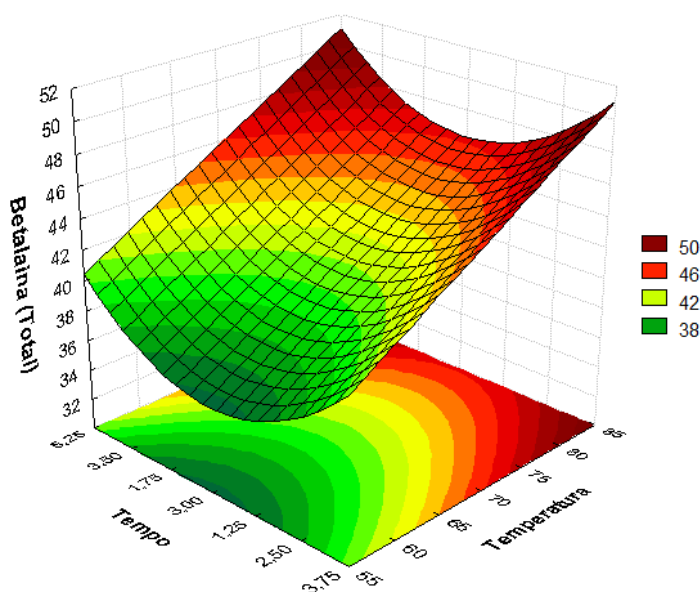
Analisando os dados expressos na Figura 22 para os teores de β -xantina, nota-se que os experimentos 3 e 4, ambos 80 °C por 2,5 e 3,5 horas, apresentaram valores de 41,69 e 41,64 mg de β -xantina/100 g de amostra seca, seguido por 40,46 mg de β -xantina/100 g de amostra seca, experimento 6; 84,1 °C por 3,0 horas de secagem. Os resultados mais baixos foram 31,15 e 30,42 mg de β -xantina/100 g de amostra seca, experimentos 2 e 5, ambos a 60 °C a tempos de 3,5 e 3,0 horas, respectivamente.

Liu et al., (2022) que realizaram secagem de beterraba por bomba de calor, secagem a vácuo e por micro-ondas, encontraram resultados de $5,48 \pm 0,03$ mg/100 g de amostra seca para betacianina e $2,40 \pm 0,02$ mg/ 100 g de amostra seca para betaxantina. Nistor et al. (2017), realizaram secagem com métodos combinados: convecção livre a 50, 60 e 70 °C + micro-ondas (315 W) por 9 minutos, encontrando valores de 6,31 mg/100 g de amostra seca para betacianina e de 7,95 mg/ 100 g de amostra seca para betaxantina. O estudo de Martínez-Sánchez et al. (2024) mostra que a secagem da beterraba em janela de refratância costuma ser eficiente com tempos melhores que em outras metodologias bem como menos “agressiva” à amostra, já que conservou melhor os resultados de cor, TPC, TFC. Portanto os melhores resultados obtidos neste trabalho foram de 6,65 mg/100 g de amostra seca para betacianina para 60°C em 3,5 horas, 4,69 mg/100 g de amostra seca para betaxantina 80°C em 2,5 horas, enquanto para as betalainas os melhores resultados foram obtidos em temperaturas de 80°C, como é possível notar na Figura 23.

A equação de regressão obtida pelo *software* está representada na Equação 8 com $R^2 = 0,8389$, está em função de temperatura linear e tempo quadrático. A superfície de resposta evidencia que os melhores resultados para as betalaínas foram obtidas em maiores temperaturas e tempos.

$$TB = 39,99 + 3,54T + 5,11t^2 \quad (\text{Equação 8})$$

Figura 23 – Superfície de resposta (Teor de Betalaínas).



Fonte: Dados da pesquisa.

5.3.4. Cor

As Figuras de 24 a 26 apresentam as superfícies de resposta para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* para as amostras secas. Comparada a amostra *in natura*, é possível notar que L^* diminuiu, a^* e b^* aumentaram ou se mantiveram. Na Tabela 6, estão os dados dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C , H° e ΔE , que foram obtidos na realização dos experimentos ou calculados.

O mais comum encontrado na literatura seria o aumento nos resultados do parâmetro L^* e diminuição em a^* e b^* com o aumento de temperatura. No entanto, no presente estudo o ocorrido foi contrário. Algo que pode ter influenciado é a concentração de pigmentos com a perda de água aumentando a intensidade para a^* e b^* (Bahriye et al., 2023; Liu et al., 2021). Apesar de existir a diminuição do parâmetro L^* , nota-se o seu aumento conforme a temperatura se eleva (Figura 24). A Equação 9 apresentou $R^2 = 0,8468$, e que o parâmetro L^* é influenciado pela temperatura linear e quadrática.

$$L^* = 4,29 + 0,65T - 0,004T^2$$

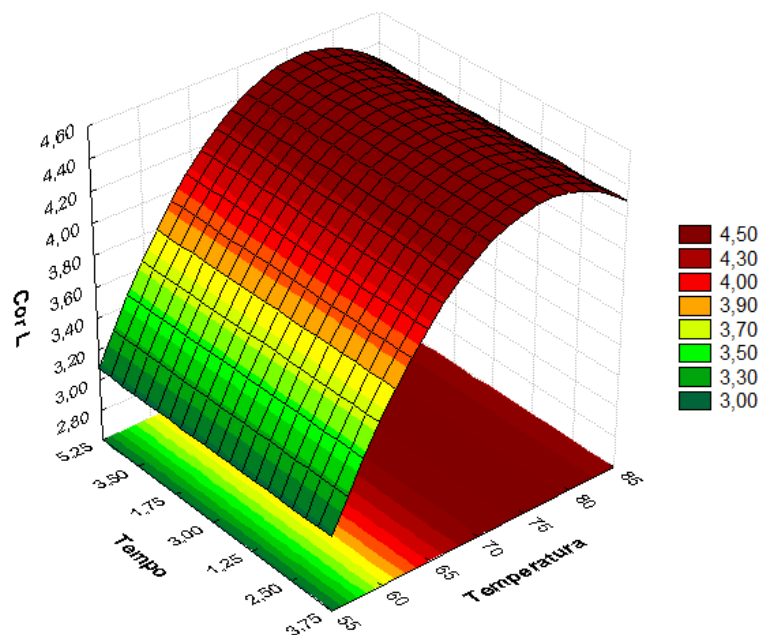
(Equação 9)

Tabela 6 – Dados dos parâmetros de cor para o pó de beterraba.

Experimentos	T (°C)	t (h)	L*	a*	b*	C	H°	ΔE
1	60,0	2,5	3,66	2,33	3,41	13,96	55,66	18,94
2	60,0	3,5	3,45	2,76	3,63	15,94	52,75	19,16
3	80,0	2,5	4,39	4,34	4,45	24,14	45,72	18,40
4	80,0	3,5	4,54	4,52	4,40	23,88	44,23	18,26
5	55,9	3,0	3,32	2,03	3,27	12,72	58,17	19,27
6	84,1	3,0	5,36	5,30	4,94	29,70	42,99	17,64
7	70,0	2,3	4,44	4,19	4,24	22,17	45,34	18,31
8	70,0	3,7	4,69	4,59	4,36	23,60	43,53	18,11
9	70,0	3,0	4,02	3,54	3,95	19,14	48,13	18,65
10	70,0	3,0	4,55	4,10	4,39	23,37	46,96	18,22

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 24 – Superfície de resposta de cor (L*).



Fonte: Dados da pesquisa.

Nas Figuras 25 e 26 observa-se que, com o aumento da temperatura de secagem, houve elevação dos parâmetros de cor a* (intensidade do vermelho) e b* (intensidade do

amarelo). Esse comportamento pode ser atribuído, primeiramente, à perda de água do material, que promove a concentração dos pigmentos naturais, resultando em maior intensidade cromática. Além disso, a elevação da temperatura pode acelerar reações químicas como a degradação parcial de compostos fenólicos e a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático, como a reação de Maillard e a caramelização, que também impactam nos parâmetros de cor (Vega-Gálvez et al., 2009).

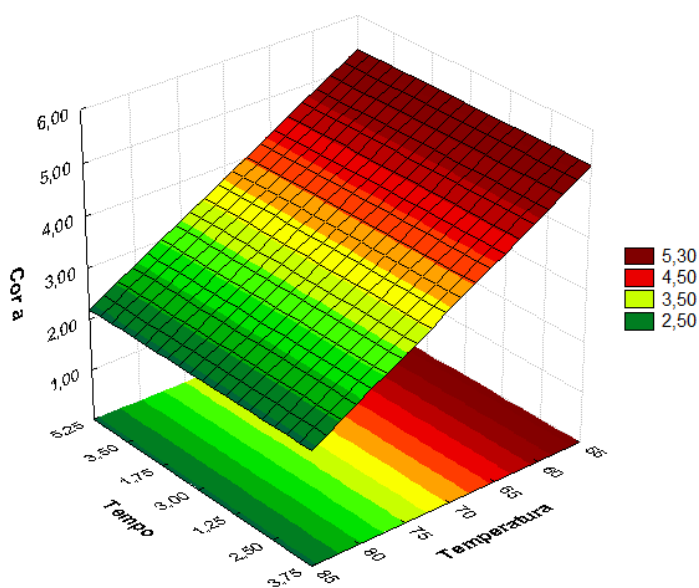
Outro ponto relevante é que a estabilidade dos pigmentos, como as betalainas, é altamente influenciada pelas condições de secagem. Temperaturas mais elevadas, embora concentrem os compostos inicialmente, podem levar à degradação térmica e modificações estruturais, alterando a percepção da cor e, em alguns casos, reduzindo a luminosidade (L^*) e aumentando a saturação de a^* e b^* . Assim, os resultados obtidos reforçam a sensibilidade da cor às variáveis de processo, sendo fundamental o ajuste de tempo e temperatura para equilibrar a preservação da coloração característica com a estabilidade dos compostos bioativos (Prieto-Santiago et al., 2020).

As Equações 10 e 11 mostram que os parâmetros de cor a^* e b^* , são influenciados pela temperatura linear. Estes apresentaram valores de $R^2 = 0,8502$ e $R^2 = 0,8710$, respectivamente.

$$a^* = 3,77 + 1,05T \quad (\text{Equação 10})$$

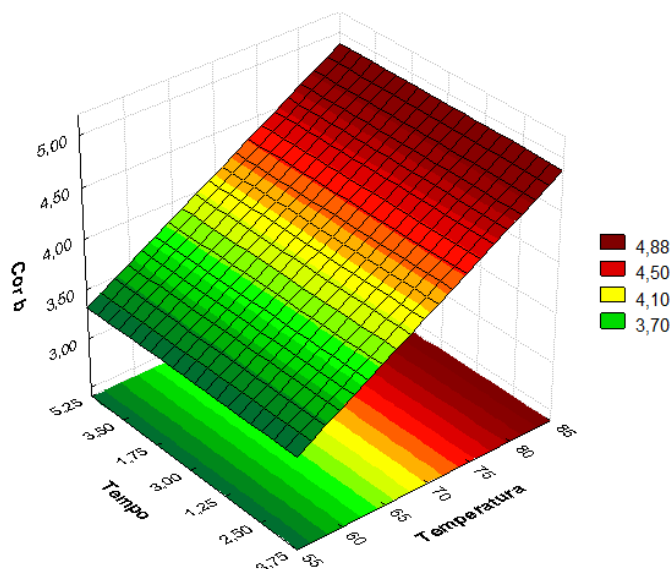
$$b^* = 4,10 + 0,52T \quad (\text{Equação 11})$$

Figura 25 – Superfície de resposta de cor (a^*).



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 26 – Superfície de resposta de cor (b^*).



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 4, a beterraba *in natura* apresentou valores de $C = 5,27$ e $H^\circ = 28,78$; enquanto os experimentos realizados após a secagem (Tabela 6) mostraram C variando entre 12,72 e 29,70 e H° entre 42,99 e 58,17. Este comportamento evidencia um aumento expressivo da saturação da cor (C) nos materiais secos em relação ao *in natura*, o que pode ser explicado pela perda de água e consequente concentração dos pigmentos, intensificando visualmente a coloração (Vega-Gálvez et al., 2009).

Em contrapartida, os valores de H° aumentaram após a secagem, indicando um deslocamento da tonalidade do vermelho para regiões mais alaranjadas/amareladas. Esse efeito está associado à degradação parcial das betacianinas, pigmentos mais instáveis ao calor, e ao consequente predomínio relativo das betaxantinas, que conferem tonalidades mais amareladas (Sutor-Świezy et al., 2022).

Já os valores de ΔE , que expressam a diferença global de cor em relação ao *in natura*, ficaram entre 17,64 e 19,27 para todos os tratamentos. Considerando que valores acima de 3 já são perceptíveis ao olho humano, nota-se que as alterações cromáticas foram muito significativas, confirmando que as condições de secagem impactaram de forma direta a percepção de cor do produto final (Sutor-Świezy et al., 2022; Vega-Gálvez et al., 2009).

6. CONCLUSÃO

A secagem da beterraba (*Beta vulgaris* L.) em janela de refração mostrou-se uma técnica promissora para a preservação de compostos bioativos e manutenção da cor característica. Os resultados obtidos evidenciaram que, embora o teor de fenólicos totais (TPC) tenha sofrido redução em relação ao material *in natura*, indicando certa sensibilidade à técnica, em outros parâmetros, como os flavonoides totais (TFC), observou-se aumento em alguns tratamentos, o que pode estar associado à liberação de compostos ligados à matriz celular.

Quanto às betalainas, verificou-se a manutenção significativa das betacianinas e betaxantinas, confirmando a eficiência do método em preservar pigmentos de importância funcional e tecnológica. Os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) mostraram que o processo é sensível às condições de tempo e temperatura, podendo concentrar os pigmentos ou promover sua degradação dependendo das condições aplicadas. A análise dos parâmetros C, H^o e ΔE confirmou alterações cromáticas significativas em relação ao *in natura*, reforçando a necessidade de otimização das condições de secagem para equilibrar a intensidade da cor e a preservação dos compostos bioativos.

Dessa forma, quando comparado com material liofilizado, dados da literatura evidenciam que o método janela de refração se destaca como alternativa viável à liofilização, por apresentar menor custo operacional e bons índices de retenção de compostos bioativos, configurando-se como um método eficiente e sustentável para o processamento da beterraba.

Ainda se faz necessário mais estudos relacionando as condições de secagem com a estabilidade a longo prazo dos compostos preservados, bem como explorar a aplicação tecnológica dos pós obtidos em diferentes formulações alimentícias para este cultivar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFZAAL, M.; SAEED, F.; AHMED, A.; KHALID, M. A.; ISLAM, F.; IKRAM, A.; HUSSAIN, M.; FAREED, F.; ANJUM, W. Red beet pomace as a source of nutraceuticals. In: *FOOD and agricultural byproducts as important source of valuable nutraceuticals*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 39–55.

ALIDE, T.; WANGILA, P.; KIPROP, A. Effect of cooking temperature and time on total phenolic content, total flavonoid content and total *in vitro* antioxidant activity of garlic. *BMC Research Notes*, v. 13, p. 564, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05404-8>.

ALVES, J., K, dos S.. Cinética de secagem da beterraba (*Beta vulgaris* L.) obtida por Refractance Windows e caracterização físico-química. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16. ed. Vol. 1. Gaithersburg, MD, 1995.

AYKLN-DİNÇER, E.; GÜNGÖR, K. K.; CAĞLAR, E.; ERBAS, M. The use of beetroot extract and extract powder in sausages as natural food colorant. *International Journal of Food Engineering*, v. 17, p. 75–82, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2021-0039>.

BAHRIYE, G.; DADASHI, S.; DEHGHANNYA, J.; GHAFFARI, H. Influence of processing temperature on production of red beetroot powder as a natural red colorant using foam-mat drying: experimental and modeling study. *Food Science & Nutrition*, v. 11, n. 11, p. 6955–6973, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3621>.

BAIÃO, D. dos S.; SILVA, D. V. T. da; AGUILA, E. M. D.; PASCHOALIN, V. M. F. Nutritional, bioactive and physicochemical characteristics of different beetroot formulations. *InTechOpen*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.69301>.

BAIÃO, D. dos S.; SILVA, D. V. T. da; PASCHOALIN, V. M. F. Beetroot, a remarkable vegetable: its nitrate and phytochemical contents can be adjusted in novel formulations to benefit health and support cardiovascular disease therapies. *Antioxidants*, v. 9, p. 960, 2020.

BERK, Z. *Food process engineering and technology*. 3. ed. Cambridge: Academic Press, 2018.

BERNAERT, N; DROOGENBROECK, B.V; PAMEL, E.V; RUYCK, H. Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing. *Trends in Food Science & Technology*, v. 84, p. 22–24, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.029>

BHANDARI, B. R.; ADHIKARI, B. P. Water activity in food processing and preservation. Em: CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S., *Drying Technologies in Food Processing*, Cap. 2, p. 55-89, Blackwell Publishing Ltd, John Wiley & Sons, Inglaterra, 2008.

BOVI, D. C. M. de L.; CORREIA, A. de F. K.; GUTIERREZ, E. M. R.; BOVI, V. M. de L.; HARDER, M. N. C. Determinação dos teores de betalaina e composição centesimal de beterraba *in natura* e tipo chips. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos*, v. 10, n. 2, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/rebrapa.v10n2.9521>.

CALDERÓN-CHIU, C.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M.; CARMONA-GARCÍA, R.; HERMAN-LARA, E. Evaluation of the combined effect of osmotic and Refractance Window drying on the drying kinetics, physical, and phytochemical properties of beet. *Drying Technology*, v. 38, n. 12, p. 1663–1675, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1655439>.

CALÍN-SÁNCHEZ, Á.; LIPAN, L.; CANO-LAMADRID, M.; KHARAGHANI, A.; MASZTALERZ, K.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A; FIGEL, A.. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*, Basel, v. 9, n. 9, p. 1261, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>.

CEAGESP, Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Beterraba com folha, São Paulo, 2025.

CECLU, L.; OANA-VIORELA, N. Red beetroot: composition and health effects — a review. *Journal of Nutrition, Medicine and Diet Care*, v. 6, p. 043, 2020.

CELESTINO, S. M. C.. *Princípios de secagem de alimentos*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p. (Documentos/Embrapa Cerrados, n. 276).

CHEN, X. D.; PATEL, K. C. Biological changes during food drying processes. Em: CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S., *Drying Technologies in Food Processing*, Cap 3, p. 90-112, Blackwell Publishing Ltd, John Wiley & Sons, Inglaterra, 2008.

CHEN, F.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S.; GUO, C.; YU, D. Comparative analysis of composition and hygroscopic properties of infrared freeze-dried blueberries, cranberries and raspberries. *Drying Technology*, p. 1–16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1913418>.

CHEN, L.; ZHU, Y.; HU, Z.; WU, S.; JIN, C.. *Beetroot as a functional food with huge health benefits: Antioxidant, antitumor, physical function, and chronic metabolomics activity*. *Food Science & Nutrition*, v. 9, n. 9, p. 1-15, 2021. DOI: 10.1002/fsn3.2577.

CHHIKARA, N.; KUSHWAHA, K.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: a critical review. *Food Chemistry*, v. 272, p. 192–200, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>.

CLIFFORD, T.; HOWATSON, G.; WEST, D. J.; STEVENSON, E. J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, v. 7, n. 4, p. 2801–2822, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7042801>.

COIMBRA, P. P. S.; SILVA-E-SILVA, A. C. A. G. D.; ANTONIO, A. D. S.; PEREIRA, H. M. G.; VEIGA-JUNIOR, V. F. D.; FELZENSZWALB, I.; ARAUJO-LIMA, C. F.; TEODORO, A. J. Antioxidant capacity, antitumor activity and metabolomic profile of a beetroot peel flour. *Metabolites*, v. 13, p. 277, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13020277>.

CORDEIRO, M. H. M.; SILVA, J. M.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; MOTA, W. F. Caracterização física, química e nutricional da pitaia-rosa de polpa vermelha. *Revista*

Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 20–26, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-046/14>.

COSTA, A. P. D.; HERMES, V. S.; RIOS, A. O. de; FLÔRES, S. H. Minimally processed beetroot waste as an alternative source to obtain functional ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, v. 54, p. 2050–2058, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2637-y>.

DADHANEEYA, H.; KESAVAN, R. K.; INBARAJ, B. S.; SHARMA, M.; KAMMA, S.; NAYAK, P. K.; SRIDHAR, K. Impact of different drying methods on the phenolic composition, *in vitro* antioxidant activity, and quality attributes of dragon fruit slices and pulp. *Foods*, Basel, v. 12, n. 7, art. 1387, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12071387>.

DE-LA-HABA, F.; ANTEQUERA, T.; RUIZ, J.; SOLOMANDO, J. C.; PAJUELO, A.; PÉREZ-PALACIOS, T.. Suitability in the microencapsulation of fish oil and *in vitro* bioaccessibility of omega-3 fatty acids. *Food Bioscience*, [S.l.], v. 55, p. 103027, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103027>.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains – characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 40, p. 173–289, 2000.

DESMORIEUX, H.; MADIOULI, J.; HERRAUD, C.; MOUAZIZ, H. Effects of size and form of *Arthrospira Spirulina* biomass on the shrinkage and porosity during drying. *Journal of Food Engineering*, v. 100, p. 585-595, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.021>

DOMÍNGUEZ, R.; MUNEKATA, P. E. S.; PATEIRO, M.; MAGGIOLINO, A.; BOHRER, B.; LORENZO, J. M. Red beetroot: a potential source of natural additives for the meat industry. *Applied Sciences*, v. 10, p. 8340, 2020.

DORTA, E.; GONZÁLEZ, M.; LOBO, M. G.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; DE ANCOS, B.. Screening of phenolic compounds in by-product extracts from mangoes (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI-QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient. *Food*

Research International, v. 57, p. 51–60, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.012>

EL-BELTAGI, H. S.; EL-MOGY, M. M.; PARMAR, A.; MANSOUR, A. T.; SHALABY, T. A.; ALI, M. R. Phytochemical characterization and utilization of dried red beetroot (*Beta vulgaris*) peel extract in maintaining the quality of Nile tilapia fish fillet. *Antioxidants*, v. 11, n. 5, p. 906, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11050906>.

ELGAMAL, R.; SONG, C.; RAYAN, A. M.; LIU, C.; AL-REJAIE, S.; ELMASRY, G. Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: a comprehensive overview. *Agronomy*, v. 13, n. 6, e1580, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>.

EL-GHFFAR, E. A.; HEGAZI, N. M.; SAAD, H. H.; SOLIMAN, M. M.; EL-RAEY, M. A.; SHEHATA, S. M.; SOBEH, M. HPLC-ESI-MS/MS analysis of beet (*Beta vulgaris*) leaves and its beneficial properties in type 1 diabetic rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v. 120, p. 109541, 2019.

FELLOWS, P. J. Tecnologia de Processamento de Alimentos: Princípios e Prática. Tradução de Olivera et al., 2ª Edição, 602 p., Porto Alegre-RS, Ed. ARTMED, 2006.

FERREIRA, M. S.; SANTOS, M. C.; MORO, T. M.; BASTO, G. J.; ANDRADE, R. M.; GONÇALVES, É. C. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. *Journal of Food Science and Technology*, v. 52, p. 822–830, 2015.

FERNANDES, A. L. S.; FERNANDES, E. S.; SILVA, F. S. Avaliação físico-química da produção de pickles produzidos a partir da sobra de vegetais da cozinha do IFMT-Campus Confresa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 54., 2014, Rio de Janeiro. *Anais....* Rio de Janeiro: ABQ, 2014.

FREITAS, G. M.; CICOTTI, L.; CONSTANT, P. B. L.; ZOTARELLI, M. F.; SÁ, J. P. N. de; MAZZUTTI, S.; OLIVEIRA, F. A. de; DURIGON, A. Beetroot microgreens (*Beta vulgaris*)

powder obtained by cast-tape drying and freeze-drying. *Journal of Food Process Engineering*, v. 47, e70015, 2024.

FU, Y.; SHI, J.; XIE, S.-Y.; ZHANG, T.-Y.; SOLADOYE, O. P.; ALUKO, R. E. Red beetroot betalains: perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 68, p. 11595–11611, 2020.

GANESH, K. S.; SRIDHAR, A.; VISHALI, S. Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: conventional utilization and emerging opportunities a review. *Chemosphere*, v. 287, p. 132221, 2022.

GAUTAM, A; ABDUL, S. Comparative study of different drying techniques of dragon fruit peel. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 9, n.4, p. 280-283, 2020.

GEORGIEV, V. G.; WEBER, J.; KNESCHKE, E.-M.; DENEV, P. N.; BLEY, T.; PAVLOV, A. I. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 65, p. 105–111, 2010.

GULDHE, A.; SINGH, B.; RAWAT, I.; RAMLUCKAN, K.; BUX, F.. Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from microalgae for biodiesel production. *Fuel*, [S.l.], v. 128, p. 46–52, 2014.

GULDIKEN, B.; TOYDEMIR, G.; NUR MEMIS, K.; OKUR, S.; BOYACIOGLU, D.; CAPANOGLU, E. Home-processed red beetroot (*Beta vulgaris* L.) products: changes in antioxidant properties and bioaccessibility. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 17, n. 6, p. 858, 2016.

HAN, Y.; ZHENG, Y.; LI, S.; MO, R.; LONG, X.; LIU, Y. Effects of drying process with different temperature on the nutritional qualities of walnut (*Juglans regia* L.). *Food Science and Technology Research*, v. 25, n. 2, p. 167–176, 2019.

HAMID, M. G.; NOUR, A. A. A. M.. *Effect of different drying methods on quality attributes of beetroot (Beta vulgaris) slices*. World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, [s.l.], 2018. DOI: 10.1108/WJSTSD-11-2017-0043.

HERMAN-LARA, E.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M.; CALDERÓN-CHIU, C. Beetroot slices dried by refractance window dryer and conventional drying: drying kinetics, physicochemical properties and antioxidant capacity. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, México, v. 23, n. 3, p. 1357-1371, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim24299>.

HIPÓLITO, G.; OLIVEIRA, T. P. L.; HIGUCHI, D. A.; MANHANI, M. R.; SANTOS, A. M. O potencial do pigmento betalaína extraído da beterraba (*Beta vulgaris* L.) na aplicação em cosméticos. *Revista Sinergia*, v. 22, n. 1, 2020. Disponível em: <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/sinergia/article/view/1306>.

HOBBS, D. A.; KAFFA, N.; GEORGE, T. W.; METHVEN, L.; LOVEGROVE, J. A. Blood pressure-lowering effects of beetroot juice and novel beetroot-enriched bread products in normotensive male subjects. *British Journal of Nutrition*, v. 108, p. 2066–2074, 2012.

JOARDDER, M. U.; KARIM, A.; KUMAR, C. Effect of temperature distribution on predicting quality of microwave dehydrated food. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, [S.l.], v. 5, p. 562–568, 2013.

KABA, B.; ZANNOU, O.; ALI REDHA, A. et al. Enhancing extraction of betalains from beetroot (*Beta vulgaris* L.) using deep eutectic solvents: optimization, bioaccessibility and stability. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 6, p. 38, 2024.

KABIR, A. U.; SAMAD, M. B.; AHMED, A.; JAHAN, M. R.; AKHTER, F.; TASNIM, J.; HASAN, S. M. N.; SAYFE, S. S.; HANNAN, J. M. A. *Aqueous fraction of Beta vulgaris ameliorates hyperglycemia in diabetic mice due to enhanced glucose-stimulated insulin secretion, mediated by acetylcholine and GLP-1, and elevated glucose uptake via increased membrane bound GLUT4 transporters*. PLoS ONE, v. 10, n. 2, e0116546, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116546>

KALETA, A.; GÓRNICKI, K.; OBRANOVIĆ, M.; KOSIOREK, K. Some aspects of the modelling of dried red beets rehydration process. *Applied Sciences*, v. 14, n. 3, p. 1016, 2024.

KAMEL, S. M.; ALQURASHI, R. M.; ALSHEBLY, A. M.; SALEH, F. A.; ALNEMR, T. M.; ALI, H. F.; ASIRI, S. A.; IBRAHIM, M. E.; ALQAHTANI, N. K.. *Effect of drying method and coating with gum Arabic on physicochemical properties, betalain content, LDL oxidation, and storage stability of dried red beetroot slices*. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 2024, p. 1-10, 2024. DOI: 10.1155/2024/8471292.

KAVALCOVÁ, P.; BYSTRICKÁ, J.; TOMÁŠ, J.; KAROVIČOVÁ, J.; KOVAROVIČ, J.; LENKOVÁ, M. The content of total polyphenols and antioxidant activity in red beetroot. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, v. 9, n. 1, p. 77–83, 2015.

KAZIMIERCZAK, R.; HALLMANN, E.; LIPOWSKI, J.; DRELA, N.; KOWALIK, A.; PÜSSA, T.; MATT, D.; LUIK, A.; GOZDOWSKI, D.; REMBIAŁKOWSKA, E. Beetroot (*Beta vulgaris* L.) and naturally fermented beetroot juices from organic and conventional production: metabolomics, antioxidant levels and anticancer activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 94, n. 13, p. 2618–2629, 2014.

KNEZ, E.; KADAC-CZAPSKA, K.; DMOCHOWSKA-ŚLĘZAK, K.; GREMBECKA, M. Root vegetables – composition, health effects, and contaminants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, p. 15531, 2022.

KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS. *Logotipo institucional*. 2006–2023.

KUJALA, T.; LOPONEN, J.; PIHLAJA, K. Betalains and phenolics in red beetroot (*Beta vulgaris*) peel extracts: extraction and characterisation. *Zeitschrift für Naturforschung C – Journal of Biosciences*, v. 56, n. 5–6, p. 343–348, 2001.

KUMAR, M.; SHARMA, P.; PANDEY, A.; SINGH, R. R. Refractance window drying of food and biological materials: a review. *Food Reviews International*, v. 40, n. 2, p. 482-503, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2134019>.

LAZĂR M., S.; CONSTANTIN, O. E.; HORINCAR, G.; ANDRONOIU, D. G.; STĂNCIUC, N.; MURESAN, C.; RÂPEANU, G. Beetroot by-product as a functional ingredient for obtaining value-added mayonnaise. *Processes*, v. 10, p. 227, 2022.

LEE, E. J.; AN, D.; NGUYEN, C. T.; PATIL, B. S.; KIM, J.; YOO, K. S. Betalain and betaine composition of greenhouse- or field-produced beetroot (*Beta vulgaris* L.) and inhibition of HepG2 cell proliferation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 62, n. 6, p. 1324–1331, 2014.

LIU, Y.; SABADASH, S.; DUAN, Z.; DENG, C. The influence of different drying methods on the quality attributes of beetroots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, [S.l.], v. 3, n. 11(117), p. 60–68, 2022. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258049>.

LIU, Y.; SABADASH, S.; GAO, D.; SHANG, F.; DUAN, Z. Influence of vacuum microwave drying parameters on the physicochemical properties of red beetroots. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, v. 23, n. 96, p. 8–14, 2021.

MADADI, E.; MAZLOUM-RAVASAN, S.; YU, J. S.; HA, J. W.; HAMED HAMISHEHKAR, H.; KIM, K. H. Therapeutic application of betalains: a review. *Plants*, v. 9, p. 1219, 2020.

MAGOON, R. E. Method and apparatus for drying fruit pulp and the like. Patente 4631837 EUA, 1986.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; TORRES-NINÓ, M. S.; RAMÍREZ-FIGUEROA, E.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.; GALLEGOS-MARÍN, I.; CALDERÓN-CHIU, C.; HERMAN-LARA, E.. Evaluation of energy efficiency and quality parameters by drying beets with a refractive window (*Beta vulgaris*). 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116589>.

MASKAN, M. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, [S.l.], v. 44, n. 2, p. 71–78, 2000.

MOCANU, G.-D.; CHIRILĂ, A. C.; VASILE, A. M.; ANDRONOIU, D. G.; NISTOR, O.-V.; BARBU, V.; STĂNCIUC, N. Tailoring the functional potential of red beet purées by inoculation with lactic acid bacteria and drying. *Foods*, v. 9, n. 11, p. 1611, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/11/1611>.

MONTANARI, M. *A cultural history of food in the medieval age*. London: Berg Publishing, 2012.

MORENO-LEY, C. M.; OSORIO-REVILLA, G.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, D. M.; RAMOS-MONROY, O. A.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. Anti-inflammatory activity of betalains: a comprehensive review. *Human Nutrition & Metabolism*, v. 25, p. 200126, 2021.

MUJUMDAR, A. S. *Handbook of industrial drying*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

MUMFORD, P. W.; KEPHART, W. C.; ROMERO, M. A.; HAUN, C. T.; MOBLEY, C. B.; OSBURN, S. C.; HEALY, J. C.; MOORE, A. N.; PASCOE, D. D.; RUFFIN, W. C. et al. Effect of 1-week betalain-rich beetroot concentrate supplementation on cycling performance and select physiological parameters. *European Journal of Applied Physiology*, v. 118, p. 2465–2476, 2018.

NILSSON, T. Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.). 1970. p. 179–219.

NINDO, C. I.; TANG, J. Tecnologia de desidratação por janela de refração: um novo método de secagem por contato. *Drying Technology*, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 37–48, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>

NISTOR, O. V. et al. Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry*, London, v. 236, p. 59–67, 2017.

NOWACKA, M.; RYBAK, K.; TRUSINSKA, M.; KARWACKA, M.; MATYS, A.; POBIEGA, K.; WITROWA-RAJCHERT, D. Chosen biochemical and physical properties of

beetroot treated with ultrasound and dried with infrared–hot air method. *Applied Sciences*, v. 14, n. 8, p. 3507, 2024.

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I.; QUINTERO, P. T.; AYALA, A. A.; ORTIZ, M. J. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, v. 109, n. 1, p. 69–75, 2012.

OLIVEIRA, I. A. G. de. *Uso de diferentes metodologias para secagem integral de pitaya vermelha (Hylocereus costaricensis) e seus impactos nos compostos bioativos*. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2024.

ORTIZ-JEREZ, M. J.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. Heat transfer mechanisms in conductive hydro-drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*) pieces, *Drying Technology: An International Journal*, v. 33 (8), p. 965-972, 2015. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1009538>

PANDITA, D.; PANDITA, A.; PAMURU, R. R.; NAYIK, G. A.. Beetroot. In: NAYIK, G. A.; GULL, A. (Org.). *Antioxidants in vegetables and nuts: properties and health benefits*. Berlin: Springer, 2020. p. 423–452.

PARMAR, A. R.; DHAMSANIYA, N. K.. Refractance window drying: A novel drying technique for quality retention. *The Pharma Innovation Journal*, 2023.

PETRI, I. J. *Operações Unitárias IV (OP4)*. Lavras: Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, 2019. Apresentação em PowerPoint.

PLATOSZ, N.; SAWICKI, T.; WICZKOWSKI, W. Profile of phenolic acids and flavonoids of red beet and its fermentation products: does long-term consumption of fermented beetroot juice affect phenolics profile in human blood plasma and urine? *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, v. 70, n. 1, p. 55–65, 2020.

PRIETO-SANTIAGO, D.; VÁZQUEZ-ODÉRIZ, M. L.; MUÑIZ, P.; ROMERO-RODRÍGUEZ, M. A. *Relationship between color and betalain content in red beetroot*.

Journal of Food Science and Technology, v. 57, n. 10, p. 3661-3670, 2020. DOI: 10.1007/s13197-020-04414-7.

RADOJČIN, M.; PAVKOV, I.; BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D.; PUTNIK, P.; WIKTOR, A.; STAMENKOVIĆ, Z.; KEŠELJ, K.; GERE, Attila. *Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit: a review*. Processes, Basel, v. 9, n. 1, p. 132, 2021. DOI: 10.3390/pr9010132.

RAGHAVI, L. M.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Refractance window drying of foods: A review. Journal of Food Engineering, v. 222, p. 267-275, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032>

RAHIMI, P.; MESBAH-NAMIN, S. A.; OSTADRAHIMI, A.; SEPARHAM, A.; JAFARABADI, M. A. Betalain- and betacyanin-rich supplements' impacts on the PBMC SIRT1 and LOX1 genes expression and Sirtuin-1 protein levels in coronary artery disease patients: a pilot crossover clinical trial. *Journal of Functional Foods*, v. 60, p. 103401, 2019.

RAHMAN, M. S. (Ed.). *Handbook of food preservation*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2020.

RAUPP, D. da S.; RODRIGUES, E.; ROCKENBACH, I. I.; CARBONAR, A.; CAMPOS, P. F. de; BORSATO, A. V.; FETT, R.. Effect of processing on antioxidant potential and total phenolics content in beet (*Beta vulgaris* L.). *Food Science and Technology*, v. 31, n. 3, p. 688–693, 2011.

RONCHETI, E. F. S.. Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre-ES, 2014.

SANTOS, V. C. S.; SOUZA, R. L.; FIGUEIREDO, R. T.; ALSINA, O. L. S.. A review on refractance window drying process of fruits and vegetables: its integration with renewable energies. *Braz. J. Food Technol.*, v. 25, e2021153, 2022. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15321>

SEHRAWAT, R.; NEMA, P. K.; KAUR, B. P.. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. *LWT*, [S.l.], v. 92, p. 548–555, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.012>.

SENTKOWSKA, A.; PYRZYŃSKA, K. Old-fashioned, but still a superfood — red beets as a rich source of bioactive compounds. *Applied Sciences*, v. 13, n. 13, p. 7445, 2023.

SELVAMUTHUKUMARAN, M. *Handbook on spray drying applications for food industries*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. <https://doi.org/10.1201/9780429055133>.

SHAKIR, B. K.; SIMONE, V. Estimation of betalain content in beetroot peel powder. *Italian Journal of Food Science*, v. 36, p. 53–57, 2024.

SHENDE, D.; DATTA, A. K.. *Refractance window drying of fruits and vegetables: a review*. Journal of the Science of Food and Agriculture, Chichester, v. 99, n. 8, p. 3895-3909, 2019. DOI: 10.1002/jsfa.9356.

SILVA, F. A.; RIBEIRO, D. M.; RIBEIRO, J. A.; OLIVEIRA, R. F.; QUEIROZ, J. H. Estabilidade oxidativa de amêndoas de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betcher) durante o armazenamento. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 285-292, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.11415>.

SILVA, N. C.; ANDRADE, G. B.; BARROZO, M. A. S.. Spray-Dried Jaboticaba Powder as Food Resource. *Resources*, 13, 102. 2024. <https://doi.org/10.3390/resources13080102>

SILVA, N. C.; FARIAS, J. G.; MORAES, J. O. Use of Refractance Window Drying as an Alternative Technique for Biomass and Food Processing. *Processes*, v. 11, n. 1, p. 151, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11010151>.

SILVA, N. C.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. *Refractance window drying: a novel method for food preservation*. Food Science and Nutrition, Hoboken, v. 8, n. 3, p. 1275-1289, 2020. DOI: 10.1002/fsn3.2577.

SILVA, N. C. Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, 2019.

SINGLETON, V.L; ORTHOFER, R; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

SOOCH, B. S.; SANDHU, N.; MANN, M. K.; RAY, R. C. Valorization of beetroot waste for extraction of natural dye for textile and food applications. In: *ROOTS, tubers, and bulb crop wastes: management by biorefinery approaches*. Singapore: Springer Nature, 2024. p. 237–260.

STANISZEWSKA, I.; NOWAK, K. W.; ZIELINSKA, D.; KONOPKA, I.; ZIELINSKA, M.. Pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) of fermented beetroot: modeling and optimization by response surface methodology (RSM). *Food and Bioprocess Technology*, v. 17, p. 977–990, 2024.

STOICA, F.; RÂPEANU, G.; RAȚU, R. N.; STĂNCIUC, N.; CROITORU, C.; ȚOPA, D.; JIȚĂREANU, G.. *Red beetroot and its by-products: a comprehensive review of phytochemicals, extraction methods, health benefits, and applications*. *Agriculture*, Basel, v. 15, n. 3, p. 270, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15030270>.

SUTOR-ŚWIEŻY, K.; WÓJCIK, M.; SKRZYPCZAK, T.; PASŁAWSKA, M.; NOGALA-KAŁUCKA, M. *Dehydrogenation of betacyanins in heated betalain-rich systems*. *Food Chemistry*, v. 373, p. 131415, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131415. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131415>. Acesso em: 29 set. 2025.

ŠUPUT, D.; RAKITA, S.; SPASEVSKI, N.; TOMIČIĆ, R.; DRAGOJLOVIĆ, D.; POPOVIĆ, S.; HROMIŠ, N. Dried beetroots: optimization of the osmotic dehydration process and storage stability. *Foods*, v. 13, n. 10, p. 1494, 2024.

SZYCHOWSKI, P. J.; LECH, K.; SENDRA-NADAL, E.; HERNÁNDEZ, F.; FIGIEL, A.; WOJDYLO, A.; CARBONELL-BARRACHINA, Á.. Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, London, v. 255, p. 157–164, 2018.

TACO – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Universidade Estadual de Campinas 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.

TARASEVIČIENĖ, Ž.; VENSKUTONIS, P. R.; VAIČIULYTĖ-FUNK, L.; DANILČENKO, H.; DUMBRAVA, D.; KUKTA, M.; KANDRATAVICIUS, J. *Chemical content and color of dried organic beetroot*. *Plants*, v. 13, n. 4, p. 547, 2024. DOI: 10.3390/plants13040547. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13040547>. Acesso em: 29 set. 2025.

THEBA, T.; RAVANI, A.; BHATT, H. Utilization of beetroot pomace for food fortification. *International Journal of Chemical Studies*, v. 9, p. 2653–2657, 2021.

VASCONCELLOS, J.; CONTE-JUNIOR, C.; SILVA, D.; PIERUCCI, A. P.; PASCHOALIN, V.; ALVARES, T. S. Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, v. 25, p. 79–84, 2016.

VEGA-GÁLVEZ, A.; AH-HEN, K.; CHACANA, M.; VERGARA, J.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; LEMUS-MONDACA, R.; DI SACALA, K.. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*, London, v. 132, n. 1, p. 51–59, 2012. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.029.

VITTI, M. C. D.; KLUGE, R. A.; YAMAMOTTO, L. K.; JACOMINO, A. P. Comportamento de beterrabas minimamente processadas em diferentes espessuras de corte. *Horticultura Brasileira*, v. 21, n. 4, p. 623–626, 2003.

WAGHMARE, R. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, v. 110, p. 652–662, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.030

WIJESINGHE, V. N.; CHOO, W. S. Antimicrobial betalains. *Journal of Applied Microbiology*, v. 133, p. 3347–3367, 2022.

YASHWANT, K. Beetroot: a super food. *International Journal of Engineering Studies and Technical Approach*, v. 1, p. 20–26, 2015.

ZHISHEN, J; MENGCHENG, T; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555–559, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

ZOTARELLI, M.F; CARCIOFI, B; LAURINDO, J. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*, 69, 410– 417, 2015. DOI:10.1016/j.foodres.2015.01.013.