

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS(AGROECOLOGIA)

ELABORAÇÃO DE FARINHAS DE FLORES DE HIBISCO
COLIBRI (*Malvaviscus arboreus Cav.*) E CUNHÃ (*Clitoria ternatea*
***L.*):ASPECTOS FÍSICOS E MORFOLÓGICOS**

ANNA IZAURA BALBINO DOS SANTOS

BANANEIRAS – PB

2024

ANNA IZAURA BALBINO DOS SANTOS

**ELABORAÇÃO DE FARINHAS DE FLORES DE HIBISCO
COLIBRI (*Malvaviscus arboreus Cav.*) E CUNHÃ (*Clitoria ternatea
L.*):ASPECTOS FÍSICOS E MORFOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia) do Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia).

Área de concentração: Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Comitê de Orientação:

Orientador: Dr. Emmanuel Moreira Pereira

Co-orientadores: Dr. Henrique Valentim Moura

Dra. Monica Tejo Cavalcanti

Bananeiras – PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A919e Santos, Anna Izaura Balbino Dos.

Elaboração de farinhas de flores de hibisco Colibri (Malvaviscus arboreus Cav.) e cunhã (Clitoria ternatea L.): Aspectos físicos e morfológicos / Anna Izaura Balbino Dos Santos. - Bananeiras, 2024.

59 f. : il.

Orientação: Emmanuel Moreira Pereira.

Coorientação: Monica Tejo Cavalcanti, Henrique Valentim Moura.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/Campus III.

1. Flores comestíveis. 2. Tecnologia de Alimentos. 3. Cinética de Secagem. 4. Termogravimetria. I. Pereira, Emmanuel Moreira Pereira. II. Cavalcanti, Monica Tejo. III. Moura, Henrique Valentim Moura. IV. Título.

UFPB/BSPJT

CDU 641 (043)

ELABORAÇÃO DE FARINHAS DE FLORES DE HIBISCO COLIBRI
(*Malvaviscus arboreus Cav.*) E CUNHÃ (*Clitoria ternatea L.*):
ASPECTOS FÍSICOS E MORFOLÓGICOS

ANNA IZAURA BALBINO DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia) do Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia).

Aprovada em 22 /Agosto/2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Emmanuel Moreira Pereira (DSc. Produção Vegetal - CCHSA/UFPB)
Orientador

Dra. Vênia Camelo de Souza (DSc.Agronomia, Ecologia Vegetal –
CCHSA/UFPB)

Dra. Lais Leite Barreto (DSc. Botânica – UFPB/CCA)

Aos meus pais, Rosilene Albino da Silva Santos e Nilton Gonçalo dos Santos, por todo o incentivo para comigo e minha irmã, para que pudéssemos perseguir nossos sonhos. Aos meus avós por todo o amor e cuidado, mesmo que distante. Ao meu noivo por toda parceria e companheirismo ao longo dessa caminhada.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e meus guias espirituais, por toda a proteção e conselho ao longo dessa caminhada, que não foi fácil, mas se tornou leve por saber que não estava sozinha.

A minha família, Nilton Gonçalo dos Santos, Rosilene Balbino da Silva Santos e Anne Beatriz Balbino dos Santos, que sempre acreditaram em mim antes mesmo que eu acreditasse, por me deram suporte e força para continuar atrás dos meus sonhos.

Aos meus avós, Maria da Luz Silva (in memoriam), Cicero Balbino da Silva, Maria José dos Santos e Severino Ramos (in memoriam), por todo cuidado ao longo de minha vida, por junto aos meus pais me ensinaram que sou capaz de tudo, mesmo que não presente fisicamente, seu amor e proteção seguem sempre em minha caminhada.

Ao meu noivo, Douglas Santos de Aguiar, por seu companheirismo e parceria ao longo de todo o caminho, por ser o porto seguro quando precisava descansar e por sempre me lembrar de minha força e capacidade quando eu mesmo não conseguia enxergar elas, sem seu apoio muitas batalhas que travei não seriam vencidas, obrigado por decidir lutas comigo pelo resto da vida.

As minhas queridas amigas, Edlane Eusébio da Silva de Oliveira, Maria Clara Ouriques Nascimento e Jennifer Gonzaga pelo apoio, risadas e carinho que sempre tiveram comigo, serei sempre grata por estarem em minha vida.

Ao meu orientador, Dr. Emmanuel Moreira Pereira, por me abrir as portas para o crescimento como pesquisadora e como pessoa no mundo acadêmico.

Aos meus co-orientadores, Dr. Henrique Valentim Moura e Dra. Mônica Tejo Cavalcanti, pela orientação em toda minha pesquisa, em especial a Henrique que com toda a sua paciência me deu todo o suporte quando eu precisava.

A minha banca composta pela Professora Dra. Vênia Camelo e a Dra. Lais, pela orientações e enriquecimento que deram a minha pesquisa e a mim como profissional.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia), por todo o ensinamento que me foi repassado.

Aos servidores técnico do laboratório de físico-química da Universidade Federal da Paraíba do Campus III, Rafael, Ricardo, Carlos e Fabiano, pelo auxílio em todas as análises que realizei e pela disposição mesmo em horários fora do trabalho.

A coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia), pelo apoio a todos os discente do programa, em especial a pessoa de Neire, por ser a secretária mais dedicada em sua função e por sempre está a disposição para socorrer cada um dos discentes.

As meninas da Floricultura Paraíso das Flores na cidade de Areia- PB e ao Sr. José Braz, pai de minha amiga Edlane, por me ceder acesso a suas propriedades para a coleta do material a ser usado nessa pesquisa, serei eternamente grata.

Ao Instituto Nacional do Semiárido, por me proporcionar a realização de determinadas análises para esta pesquisa.

A Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade que me deu de continuar na busca de um sonho, em especial ao Campus III da cidade de Bananeiras, que desde o ano de 2016 se tornou minha casa ao me proporcionar a oportunidade de cursar uma graduação e uma Pós.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa que me permitiu minha permanência e conclusão do programa de Pós.

“O coração do homem é muito parecido com o mar, ele tem suas tempestades, suas marés e suas profundezas, ele tem suas pérolas também”.

“Os pescadores sabem que o mar é perigoso e a tormenta terrível, mas este conhecimento não os impede de lançar-se ao mar”.

Vincent Van Gogh

Sumário

CAPÍTULO I – Considerações Gerais	VI
1. INTRODUÇÃO	VI
1.1 OBJETIVOS	VII
1.1.1 Objetivo geral	VII
1.1.2 Objetivos específicos	VII
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	VIII
2.1 Plantas Alimentícias não Convencionais – PANCS	VIII
2.2 Cunhã – <i>Clitoria ternatea</i> L.	X
2.3 Hibiscos – <i>Malvaviscus arboreus</i> Cav	XII
2.4 Secagem	XIV
3. REFERÊNCIAS	XV
CAPITULO II- TÍTULO DO ARTIGO	XIX
4. Introdução.....	XX
4.1 Material e Métodos	XXI
4.1.1 Matéria-prima e coleta	XXI
4.1.2 Cinética de secagem.....	XXI
4.1.3 Obtenção das farinhas	XXII
4.1.4 Análise termogravimétrica (TG/DTG) das farinhas	XXIII
4.1.5 Propriedades físicas das farinhas	XXIII
4.1.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	XXIII
4.1.7 Análise estatística.....	XXIII
4.2 Resultados.....	XXIII
4.3 Discussão	XXVI
4.4 Conclusões.....	XXVIII
4.5 Referências	XXIX
5. Introdução.....	XXXIII
5.1 Material e Métodos	XXXIV
5.1.1 Matéria-prima e coleta	XXXIV
5.1.2 Cinética de secagem.....	XXXIV
5.1.3 Obtenção das farinhas	XXXV
5.1.4 Propriedades físicas das farinhas	XXXVI
5.1.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	XXXVI
5.1.6 Análise estatística.....	XXXVI
5.2 Resultados.....	XXXVI
5.3 Discussão	XXXVIII
5.4 Conclusões.....	XL
5.5 Referências	XL
6 ANEXOS.....	XLIII
6.5 Modelo da Revistas	XLIV

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das pétalas das flores de cunhã.....	XXVII
Tabela 2 – Tempos de secagem e teores de água das pétalas das flores de cunhã.....	XXIX
Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das pétalas das flores de cunhã com coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)	XXX
Tabela 4- Caracterização física das farinhas de cunhã	XXXIII
Tabela 5 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das pétalas das flores de hibisco.....	XLII
Tabela 6 – Tempos de secagem e teores de água das pétalas das flores de hibisco....	XLIII
Tabela 7 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das pétalas das flores de hibisco com coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2).....	XLIII
Tabela 8- Caracterização física das farinhas de hibisco	XLV

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Canapés com flores de <i>Clitoria ternatea</i> L. / Arroz cozido com flores de <i>Clitoria ternatea</i> L.....	X
Figura 2: Flor de <i>Clitoria ternatea</i> L. / Chá da flor de <i>Clitoria ternatea</i> L. / Pó da flor de <i>Clitoria ternatea</i> L.....	X
Figura 3: Flor de <i>Malvaviscus arboreus</i> Cav. / Salada de flores e folhas de <i>Malvaviscus arboreus</i> Cav. Fonte: Google Imagens.....	XII
Figura 4 – Morfologia das flores de cunhã (<i>Clitoria ternatea</i> L.).....	XXII
Figura 5 -Representação dos ajustes do modelo de Page aos dados da secagem das pétalas das flores de cunhã	XXIII
Figura 5 - Curvas termogravimétricas das farinhas de cunhã: (A) 50 °C; (B) 60 °C; (C) 70 °C; (D) 80 °C.....	XXIV
Figura 6 - Micrografias das farinhas de cunhã: (A) 50 °C - 500x; (B) 50 °C - 1000 x; (C) 60 °C - 500 x; (D) 60 °C - 1000 x; (E) 70 °C - 500 x; e (F) 70 °C - 1000 x; (G) 80 °C - 500	

x; (H) 80 °C - 1000 x.	XXV
Figura 7 - Morfologia das flores de hibisco (<i>Malvaviscus arboresu Cav.</i>).....	XXXVII
Figura 8 - Representação dos ajustes do modelo de Logaritmo aos dados da secagem das pétalas das flores de hibisco	XLIV
Figura 9 - Micrografias das farinhas de hibisco: (A) 50 °C - 500x; (B) 50 °C - 1000 x; (C) 60 °C - 500 x; (D) 60 °C - 1000 x; (E) 70 °C - 500 x; e (F) 70 °C - 1000 x; (G) 80 °C - 500 x; (H) 80 °C - 1000 x.	XLV

RESUMO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs), tem ganhado espaço tanto no âmbito acadêmico quanto nos âmbitos gastronômicos, graças a uma atual busca por formas de alimentação mais saudáveis, a utilização de diversos tipos de PANCs como forma alternativa para o consumo de nutrientes e minerais vem se tornando mais frequente na alimentação humana. Espécies do gênero *Malvaviscus arboreus* Cav. (hibisco colibri) e *Clitoria ternatea* L. (cunhã), são duas espécies de PANCs utilizadas na alimentação humana em diversas culturas, tanto por seus valores nutritivos como medicinais. Objetivou-se elaborar e caracterizar farinhas a partir da secagem das flores de *Malvaviscus arboreus* Cav. e *Clitoria ternatea* L, a fim de analisar suas propriedades térmicas, físicas e estruturais. As flores (individualmente) foram submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, sendo realizada a cinética de secagem e aplicação de modelos matemáticos aos dados obtidos. As farinhas elaboradas foram caracterizadas quanto aos parâmetros físicos, a morfologia das partículas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e as propriedades térmicas pela análise termogravimétrica (TG/DTG). O modelo de melhor ajuste para a cinética de secagem da *Malvaviscus arboreus* Cav foi o de Logaritmo, enquanto que para a cinética da *Clitoria ternatea* L relata-se o melhor ajuste para o modelo de Page. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) nas farinhas de hibisco e clitória revelou estruturas irregulares com partículas de tamanhos variados. As de hibisco têm partículas mais compactas e regulares, enquanto as da clitória são mais porosas e irregulares. A temperatura de obtenção das farinhas para as duas espécies de flores não resultou em diferenças notórias de sua estrutura.

Palavras-chave: Flores Comestíveis, Tecnologia de Alimentos, Cinética de Secagem, termogravimetria.

ABSTRACT

Unconventional Food Plants (UFPs) have gained traction in both academic and gastronomic domains, driven by current trends towards healthier diets. The use of various UFPs as alternative sources of nutrients and minerals is increasingly prevalent in human nutrition. Species such as *Malvaviscus arboreus* (Turk's cap) and *Clitoria ternatea* (butterfly pea) are utilized for their nutritional and medicinal values across different cultures. This study aimed to develop and characterize flours derived from the drying of *Malvaviscus arboreus* and *Clitoria ternatea* flowers, focusing on their thermal, physical, and structural properties. Flowers were individually dried in a forced-air oven at temperatures of 50, 60, 70, and 80 °C, with drying kinetics analyzed and mathematical models applied to the data. The resulting flours were characterized for physical parameters, particle morphology via scanning electron microscopy (SEM), and thermal properties using thermogravimetric analysis (TG/DTG). The Logarithmic model best fit the drying kinetics of *Malvaviscus arboreus*, while the Page model provided the best fit for *Clitoria ternatea*. SEM revealed irregular structures with particles of varying sizes in both hibiscus and butterfly pea flours. Hibiscus flour exhibited more compact and regular particles, whereas butterfly pea flour showed more porous and irregular particles. Differences in the drying temperatures for the two flower species did not notably affect their structural characteristics.

Keywords: Edible Flowers, Food Technology, Drying Kinetics, Thermogravimetry.

CAPÍTULO I – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) são espécies de plantas ou partes delas que poderíamos consumir, mas que não fazem parte de nossos hábitos alimentares. Muitas delas tiveram, ou ainda têm, algum consumo tradicional em determinadas regiões ou culturas, mas estão caindo em desuso, são principalmente espécies nativas, exóticas ou naturalizadas, cujas folhas, raízes, flores ou caules são comestíveis (Sartori et al., 2020). Diversas espécies de PANC podem exercer efeitos fisiológicos benéficos, no que diz respeito ao trato digestivo, pois atuam sobre a microbiota intestinal, que tem papel fundamental na saúde e no equilíbrio do intestino. (Paschoal; Souza, 2015). Pesquisas mais atuais têm identificado que, de modo geral, as PANC apresentam fator nutricional superior a algumas hortaliças cultivadas, podendo ser um aporte importante na ingestão diária de vitaminas e minerais essenciais ao desenvolvimento humano (Liberato et al., 2019).

A planta do gênero *Malvaviscus arboreus* pertence à família das Malvaceae, são plantas alimentícias não convencionais (PANCs), popularmente conhecida como “Hibisco colibri” ou “Malvavisco”, suas flores e folhas jovens são comestíveis em saladas; quando secas, podem ser usadas para o preparo de chás; as flores ainda são usadas como ornamentação comestível de pratos e no preparo de geléias. (Cordeiro, 2018). Na medicina tradicional, o “Malvavisco” é usado como anti-inflamatório no tratamento de inflamações do sistema digestivo (Callegari; Matos, 2017). A mucilagem das flores é indicada em casos de diarreia, podendo ser absorvida diretamente das flores, devido ao alto teor de vitaminas A, B, C e K, fibras e minerais (Cordeiro, 2018).

A *Clitoria ternatea* é uma planta da família das Fabaceae, e trata-se de uma planta trepadeira nativa da Ásia, de flores azuis ou brancas, popularmente conhecidas como “Cunhã” ou “Feijão borboleta” (Kinupp; Lorenzi, 2015). Comumente usada como planta ornamental pela vistosa floração, também são plantas alimentícias não convencionais (PANCs), suas flores azuis são comestíveis e comumente usadas na medicina indiana e

como corantes naturais em alimentos e bebidas por todo o mundo (Pasukamonset et al., 2016).

A secagem pode contribuir para determinar a viabilidade econômica e otimização de processo na secagem de vegetais quando empregado com simulações matemáticas (Silva et al., 2020), permitindo compreender o comportamento durante os processos termodinâmicos e operações unitárias que ocorrem até o produto final.

A desidratação visa diminuir a umidade do vegetal e prolongar sua vida útil. A secagem faz com que ocorra a redução da água livre presente, o que conseqüentemente aumenta a concentração de nutrientes (Menezes, 2018). A técnicas de desidratação pode contribuir para aumentar a praticidade do uso deste vegetal na alimentação humana e, na linha do setor alimentício detêm a concentração de componentes ao retirar a água livre sendo mais seguro por período prolongado de armazenamento, além de garantir o consumo do vegetal de diversas formas na alimentação (Leonardi; Azevedo, 2018).

Diante do exposto, este trabalho experimental visa à elaboração e caracterização das farinhas de *Clitoria ternatea* e *Malvaviscus arboreus*. obtidas a partir da secagem convectiva em diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C), avaliando o impacto da secagem nas propriedades térmicas, físicas e estruturais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Obtenção de farinhas a partir das flores de *Clitoria ternatea* e *Malvaviscus arboreus* pelo processo de secagem convectiva.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar a cinética de secagem das flores *Clitoria ternatea* e *Malvaviscus arboreus*, utilizando-se 4 temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C), em estufa com circulação de ar, aplicando ainda modelos matemáticos aos dados;
- Analisar nas farinhas o perfil de minerais, a morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a análise termogravimétrica (TG/DTG);
- Avaliar a qualidade das farinhas de flores da *Clitoria ternatea* e *Malvaviscus arboreus*, através de atributos físicos;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plantas Alimentícias não Convencionais – PANCS

A crescente demanda alimentícia e de públicos com novos hábitos alimentares induziram estudos científicos de plantas que possam suprir a necessidade nutricional e tragam também uma abordagem fitoterápica. Os setores fármacos e alimentícios estão direcionando-se cada vez mais a estudar as plantas alimentícias não convencionais (PANCS), como fontes de nutrientes e de alto valor fitoquímico (Moura et al., 2021). As plantas alimentícias não convencionais (PANCS) são tidas como plantas que não são cultivadas de forma comercialmente, porém apresentam-se com partes que possam ser comestíveis e introduzidas na alimentação humana (Milião et al., 2022). A opção de comercialização destas plantas, como a de outras partes das plantas cultivadas convencionalmente, pode gerar maior oferta de alimentos ao longo do ano, novos produtos processados com PANCS, turismo rural e gastronômico (Callegari; Matos, 2017).

No estudo de Silva et al (2018), as plantas alimentícias não convencionais (PANCS), apesar de apresentarem um fonte alternativa natural para a diversificação da alimentação humana, muitas delas ainda não são tão conhecidas, onde para os autores, por serem espontâneas e emergirem em locais indesejáveis sob a ótica humana, muitas dessas plantas são denominadas “daninhas” e acabam sendo alvo de herbicidas.

As plantas alimentícias não convencionais (PANCS) são plantas nativas, exóticas e que muitas vezes são cultivadas de forma silvestre com desconhecimento e pouca utilização pela população. Estas plantas podem representar um alto valor nutricional como carboidratos, proteínas, fibras e minerais, como também vitaminas e compostos com a capacidade antioxidante (Costa et al., 2023), aumentando seu potencial socioeconômico. Além disso, algumas destas plantas se apresentam como fonte de proteínas de alto valor biológico e de boa digestibilidade, visando serem usadas para suplementação nutricional como, por exemplo, para públicos como do veganismo (Milião et al., 2022). Além de que o cultivo e consumo de plantas alimentícias não convencionais (PANCS) contribuem para a valorização das culturas alimentares nas quais essas plantas estão presentes e assim evitando que elas desapareçam do nosso cotidiano, também

contribuindo para a valorização da biodiversidade, a promoção da segurança alimentar e nutricional, tal como a soberania alimentar e a garantia do direito humano à alimentação adequada e saudável (Callegari; Matos, 2017).

“A segurança alimentar e nutricional consiste na realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambientais, cultural, econômica e socialmente sustentáveis”. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006 (jusbrasil.com.br)

“Soberania Alimentar é o direito dos países definirem suas próprias políticas e estratégias de produção, distribuição e consumo de alimentos que garantam a alimentação para toda a população, respeitando as múltiplas características culturais dos povos”. - Foro Mundial de Soberania Alimentaria, realizado em 2001 na cidade de Havana

“O Direito Humano à Alimentação Adequada (DHAA) está contemplado no artigo 25 da Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948. Sua definição foi ampliada em outros dispositivos do Direito Internacional, como o artigo 11 do Pacto de Direitos Econômicos, Sociais e Culturais e o Comentário Geral nº 12 da ONU. No Brasil, resultante de amplo processo de mobilização social, em 2010 foi aprovada a Emenda Constitucional nº 64, que inclui a alimentação no artigo 6º da Constituição Federal. O DHAA tem duas dimensões: o direito de estar livre da fome e o direito à alimentação adequada. A realização destas duas dimensões é de crucial importância para a fruição de todos os direitos humanos. Os principais conceitos empregados na definição de DHAA são disponibilidade de alimentos, adequação, acessibilidade e estabilidade do acesso a alimentos produzidos e consumidos de forma soberana, sustentável, digna e emancipatória.” - Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/consea>

No estudo de Liberato et al. (2019), o conceito de alimentação muda conforme o conhecimento da população sobre alimentos saudáveis e seus benefícios. A busca por uma vida saudável leva as pessoas a buscarem novas formas de alimentação tendo em vista sua funcionalidade e sustentabilidade. Os autores relatam que de modo geral, as

PANCs em sua maioria apresentam fator nutricional elevado, aumentando para o indivíduo que as consomem a ingestão diária vitaminas e minerais essenciais ao desenvolvimento humano, como visto em alguns casos são capazes de substituir as hortaliças convencionais.

Dentre algumas plantas alimentícias não convencionais (PANCs) encontradas no Brasil, temos a *Clitoria ternatea* e *Malvaviscus arboreus*, que são ainda pouco conhecidas cientificamente, mas que são subutilizadas por populações de determinadas regiões, seja para fins medicinais ou na gastronomia. Logo, conhecer o perfil nutricional, o rendimento e as propriedades fitoquímicas das plantas alimentícias não convencionais (PANCs), mostra-se como crucial para determinar sua rentabilidade e Segurança Alimentar (Moura et al., 2021). Comercializadas de forma extrativista e por pequenos agricultores, espécies como a *Clitoria ternatea*, *Malvaviscus arboreus* e outras estão cada vez mais sendo estudadas e fortalecendo a sócio-biodiversidade no país (Barbosa et al., 2021), permitindo a suplementação na alimentação humana, introduzidas na culinária e na elaboração de novos produtos alimentícios enriquecidos/suplementados.

2.2 Cunhã – *Clitoria ternatea* L.

A *Clitoria ternatea* L. é uma planta da família das Fabaceae do tipo perene que apresenta flores que podem ser utilizadas na alimentação humana, destacando-se pelo seu alto conteúdo de antocianinas e a alta capacidade antioxidante, a flor *Clitoria ternatea* L. é usada na culinária em diversos países com estudos mostrando o seu valor medicinal e funcional (Mota et al., 2022).

Suas flores desidratadas são comumente utilizadas como corante alimentar na elaboração de bolos de arroz entre outros pratos, essas flores são uma fonte de antocianinas e outros flavonóides que podem apresentar valores antioxidantes (Siti Azima et al, 2017). Dessa maneira, devido ao grande interesse pela obtenção e aplicação de pigmentos naturais na indústria de alimentos, o aproveitamento dessas flores na elaboração de novos produtos é uma alternativa tecnológica que está ao alcance nacional e, pode ser aplicada no ambiente industrial (Mota et al., 2022). Nas Figuras 1 e 2 temos a representação da *Clitoria ternatea* L. e algumas de suas utilizações.



Figura 1: Canapés com flores de *Clitoria ternatea* L. / Arroz cozido com flores de *Clitoria ternatea* L.

Fonte: www.docelima.com.br/ Google Imagem



Figura 2: Flor de *Clitoria ternatea* L. / Chá da flor de *Clitoria ternatea* L. / Pó da flor de *Clitoria ternatea* L.

Fonte: Google Imagem

A sua composição ainda não é muito conhecida, mas destaca-se: Taraxerol, triterpenoide anti-inflamatório encontrado no taráxaco, utilizado em farmacologia. Compostos de antocianina. Esteroides possivelmente relacionados ao estigmast-4-eno-3,6-dione. Flavonoides, saponinas. Glicosídeos baseados em kaempferol e quercetina.

Carboidratos nas sementes e folhas, principalmente mucilagem solúvel em água, flutuleno e oligossacarídeos. Carboidratos nas sementes e folhas, principalmente mucilagem solúvel em água, flutuleno e oligossacarídeos e um teor total de fenólicos de aproximadamente 1,9mg/g (0,2%) (Sigrits, 2018).

No estudo de Fuzetti (2020), ela nos apresenta que os pigmentos naturais obtidos de plantas são de crescente interesse como substitutos aos corantes sintéticos. As flores comestíveis possuem cores ricas e compostos com propriedades funcionais. As flores da ervilha borboleta azul (*Clitoria ternatea* L.) têm sido tradicionalmente usadas como corantes em alimentos, além de serem fontes de antocianinas e outros flavonóides com valores medicinais, principalmente antioxidantes.

Sua utilização na alimentação se dar de formas diversas, suas vagens jovens podem ser consumidas como um vegetal, as suas flores são utilizadas para dar um tom azul em bolos e arroz, já suas folhas jovens cozidas são usadas como vegetal ou para colorir os alimentos como corante natural assim como suas flores. Na medicina a utilização de suas flores em uma mistura com água é usado para tratar problemas oculares, suas sementes maduras em pó são aperientes e purgativas, as raízes têm um gosto amargo e são poderosas catárticas, diuréticas e purgativas. As cascas das raízes são usadas como diurético e laxante, a planta também é usada como paliativa para picadas de cobras (FERN, Ken, 2023). A *Clitoria ternatea* L. também é utilizada na medicina ayurvédica, onde conta com propriedades especiais que contribuem para o aumento da memória e age como anti estresse e ansiolítico. Sendo uma planta que ainda possui qualidades sedativas e tranquilizantes. No Ocidente se atribui a essa planta a capacidade de aumentar a libido feminina (Naturais, 2018).

2.3 Hibiscos – *Malvaviscus arboreus* Cav.

O *Malvaviscus arboreus* Cav. é uma planta pertencente à família *Malvaceae* popularmente conhecida por hibiscos colibri ou malva de colibri, é uma planta originária do México e da região norte da América do Sul, sendo muito utilizada no paisagismo das cidades na elaboração de cercas vivas (Callegari; Filho, 2017).

Faz parte do grupo de plantas alimentícias não convencionais, podendo ser utilizado para o consumo humano tanto suas folhas quanto flores. Sendo nas pétalas encontrada a maior parte dos seus compostos fenólicos e ácidos graxos; e nas suas folhas atividade antimicrobiana (Lim, 2014), tornando-se assim uma planta atrativa para ser

adicionada ao nosso consumo diário. Na Figura 3 temos a representação do *Malvaviscus arboreus* e algumas de suas utilizações.



Figura 3: : Flor de *Malvaviscus arboreus* Cav. / Salada de flores e folhas de *Malvaviscus arboreus* Cav.. Fonte: Google Imagens

O consumo de suas flores pode ser feito de forma *in natura*, podendo ser utilizada também na elaboração de geleias e coberturas de bolos, graças a seu espessante natural, além de ser utilizada como corante natural para diversos pratos. Suas folhas podem ser consumidas refogadas ou cozidas, apresentando um sabor semelhante ao da couve (Callegari; Filho, 2017). O seu extrato tem se tornado de interesse da indústria de alimentos, devido a estudos realizados onde apontam que o mesmo possui um alto poder antimicrobiano contra microrganismos de interesse alimentar, tais como a *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*, onde ele apresenta um poder inibidor no crescimento dessas cepas (Rodríguez-García *et al.*, 2019).

Para Alves et al (2023) em seu estudo, flores como o *Malvaviscus arboreus* Cav. e outras apresentam compostos funcionais e nutrientes bem documentados e são seguras se consumidas com moderação. Com tudo, os autores afirmam que são necessários mais estudos para assegurar o consumo de flores comestíveis nos aspectos toxicológicos e microbiológicos, ampliando o número de espécies estudadas, bem como a divulgação dos conhecimentos para promover seu consumo, contribuindo com a segurança alimentar e nutricional.

2.4 Secagem

A desidratação consiste na remoção de água por meio da diferença de pressão de vapor do alimento e o ambiente que são impulsionados pelo calor induzido. Neste processo, a umidade superficial e interna é retirada ao ocorrer à formação de canais que facilitam a saída das moléculas de água no processo (Mondal; Rangan; Uppaluri, 2019). Contudo, a água celular pode migrar de seu compartimento celular para os ambientes circundantes através de vários caminhos de migração (Welsh et al, 2021).

A secagem de alimentos é uma das técnicas de conservação mais utilizadas na indústria alimentícia. Pois, permite que o alimento tenha mais estabilidade durante um maior período de armazenamento, menor custo de manuseio, transporte e acessibilidade do produto (Mahanti et al., 2021), como também, retardando reações enzimáticas e microbiológicas que são aceleradas quando o alimento está em seu estado in natura. Alguns cuidados devem ser tomados ao desidratar os alimentos, pois o binômio tempo e temperatura influencia a qualidade final do produto. Por exemplo, altas temperaturas, presença de oxigênio, umidade e pH podem induzir a degradação de macronutrientes e compostos bioativos (Jafari et al., 2021).

A secagem quando de forma inadequada pode diminuir a vida útil do produto devido à degradação de componentes nutricionais e compostos termossensíveis ao calor. Quando ocorre o emprego de altas temperaturas pode danificar a cor, textura e outras propriedades nutricionais no alimento, isso por causa da transição de fase que ocorre entre o movimento de massa da água formando os capilares, tal perturbação pode interferir na microestrutura do vegetal (Pravalika; Chakraborty; Singhal, 2023).

Alimentos de origem vegetal que tem em sua estrutura um alto teor de água são mais sensíveis ao processo de secagem, por sua estrutura mais porosa, sendo um alimento com heterogeneidades e particularidades na desidratação. Os alimentos passam por mudanças físicas, químicas e nutricionais quando submetidos a tais condições de processamento, pois a umidade reside em três locais diferentes: no meio intracelular, intercelular e no interior das paredes celulares (Welsh; Khan; Karim, 2021).

O recurso de modelos matemáticos para descrever o processo de secagem de alimentos já é estudado. Modelos do tipo monofásico, por exemplo, explicam como a diferença de temperatura influencia no calor transferido e o material é aquecido, evaporando inicialmente a água da superfície e posteriormente a água interna por meio do ar quente (Zhu et al., 2021). O aumento da evaporação da água superficial sendo maior

que a da difusão da água interna irá aumentar o calor específico do ar induzindo o aumento da taxa de transferência de calor no vegetal (Li et al., 2022). Com isso, poderá se estabelecer o comportamento do vegetal no processo de desidratação entre os parâmetros do binômio tempo e temperatura, e suas propriedades termodinâmicas, além de mensurar a energia necessária para o todo o processo.

O desenvolvimento de novos processos e/ou experimentos para novos produtos alimentares dentro da secagem podem trazer maior conhecimento da dinâmica do fluxo de processos. Otimização de processos dentro do setor industrial alimentício para produção de alimentos desidratados, rege o entendimento das propriedades termodinâmica e operações unitárias que o alimento é submetido até o final do processo, de modo a consumir o menor de energia e redução de custos (Salhi et al, 2022). O entendimento dos pontos críticos no processo irá influenciar nas propriedades específicas em um produto (Lisboa; Duarte; Mata, 2018), tais como parâmetros operacionais, preparação e condições atmosféricas, que também estão atribuídos à qualidade final do produto.

Diversos estudos abordam a secagem ou cinética de secagem de diferentes vegetais, como por exemplo o estudo de Moura et al. (2021) ao analisarem a cinética de secagem das cascas e sementes de tapiá (*Crataeva tapia* L.) nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. Os autores relatam o melhor ajuste do modelo de Midilli aos dados dos dois tipos de resíduos, relatando ainda uma diminuição do tempo de secagem com o incremento da temperatura.

Já no estudo de Silva et al (2021) sobre a cinética de secagem em camadas de espumas de polpa congelada de graviola, os modelos matemáticos de Henderson e Pabis e Page foram ajustados aos resultados experimentais, sendo o melhor ajuste para o modelo de Page principalmente na temperatura de 70°C.

3. REFERÊNCIAS

ALVES, L.C; BIONDO, E; SANT'ANA, V; **sustentabilidade e flores comestíveis no Brasil: aspectos nutricionais, gastronômicos e toxidez.** Revista Tecnologia e Sociedade. v.9, n.56, 2023.

FERN, Ken. **Banco de dados de plantas tropicais**. Disponível em: [Clitoria ternatea – Plantas Tropicais Úteis \(theferns.info\)](http://Clitoria ternatea – Plantas Tropicais Úteis (theferns.info)). Acesso em 21. Mar. 2023.

FUZETTI, C.G; **secagem por spray drying do corante natural azul de flores comestíveis da ervilha borboleta (*Clitoria ternatea*) com diferentes agentes carregadores**. Dissertação – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2020.

BARBOSA, D.M.; SANTOS, G.M.C.; GOMES, D.L.; SANTOS, E.M.C.; SILVA, R.R.V.; MEDEIROS, P.M. **Does the label ‘unconventional food plant’ influence food acceptance by potential consumers? A first approach**. Heliyon p. 1-7.

CALLEGARI, C.R.; MATOS FILHO, A.M. **Plantas Alimentícias Não Convencionais – PANCS**. Florianópolis: Epagri, 2017. p. 9-24.

COSTA, L.D.; TRINDADE, R.P; CARDOSO, P.S.; COLAUTO, N.B.; LINDE, G.A.; OTERO, D.M. ***Pachira aquatica* (Malvaceae): An unconventional food plant with food, technological, and nutritional potential to be explored**. Food Research International, 2023. p. 1-18

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY. ***Malvaviscus arboreus* Cav.** Disponível em: <https://www.gbif.org/species/3152775>. Acesso em: 15 Mar. 2023.

KINUPP, V.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC) no Brasil: um guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Nova Odessa: Ed. Plantarum, 2014. 768p.

LEONARDI, J.G; AZEVEDO, B.M. **Métodos de Conservação de Alimentos**. 10 ed. São Paulo: Revista Saúde em Foco, 2018. p. 51-61.

LIM, T. K. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 8**. Springer Science & Business, 2014. p. 405-408.

LISBOA, HUGO & DUARTE, MARIA ELITA & CAVALCANTI-MATA, MÁRIO. (2017) **Modeling of Food Drying Processes in Industrial Spray Dryers. Food and Bioproducts Processing. P. 107.**

LIBERATO, P.S; LIMA, D.T; SILVA, G.M.B; **PNCAs – plantas alimentícias não convencionais e seu benefícios nutricionais**. Environmental smoke. v.2, n.2, p, 102-111. 2019

MATTOS, J.R.; FERREIRA, C.D.M; BOVINI, M.G.; COELHO, M.A.N. **Malvaceae – A Família dos Hibiscos**. Disponível em: [malvacea_pag_simples.pdf \(jbrj.gov.br\)](http://malvacea_pag_simples.pdf (jbrj.gov.br)). Acesso em: 15 Mar. 2023.

MAHANTI, N. K.; CHAKRABOTY, S. K.; SUDHAKAR, A.; VERMA, D. K.; SHANKAR, S.; THAKUR, M.; 1074 SINGH, S.; TRIPATHY, S.; GUPTA, A. K.; SRIVASTAV, P. P. **Refractance Windowtm-Drying Vs. Other Drying Methods And Effect Of Different Process Parameters On Quality Of Foods: A Comprehensive Review Of Trends And Technological Developments**. Future Foods, v. 3, p. 1-23. 2021.

MENEZES, V.P.; SILVA, J.R.A.; NETO, J.F.; ROLIM, H.O.; ARAÚJO, A. L.M.; LIMA, P.S.E. **Subproduto de frutas tropicais desidratadas por secagem convectiva**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 2018. P. 472-482.

MILÃO, G.L.; OLIVEIRA, A.P.H.; SOARES, L.S.; ARRUDA, T.R.; VIEIRA, E.N.R.; LEITE JUNIOR, B.R.C. **Unconventional food plants**: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. Future Foods, 2022. p. 1-19.

MOTA, G.F.; NUNES, P.T.; BORGES, S.A.; SILVA, G.A.; CONSTANT, L.B.P. **Extraction and quantification of anthocyanins from dehydrated Clitoria Ternatea flowers**. Research Society and Development, v. 11, n. 9. 2020.

MOURA, Hesrom Fernandes Serra, *et al.* **Evaluation of multielement/proximate composition and bioactive phenolics ermites of unconventional edible plants from Brazil using multivariate analysis techniques**. Food Chemistry, 2021. p. 1-11.

MOURA, H. V., de FIGUEIRÊDO, R. M. F., DE MELO QUEIROZ, A. J., DE VILELA SILVA, E. T., ESMERO, J. A. D., & LISBÔA, J. F. (2021). **Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapiá residues**. *Journal of Food Process Engineering*, 44(8), e13768. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13768>

PRAVALLIKA, K; CHAKRABORTY, S; SINGHAL, R.S. **Supercritical drying of food products**: An insightful review. Journal of Food Engineering, 2023. p. 1-13.

RANIERI, G.R. **Malvavisco e geleia com suas flores**. 2017. Disponível em: [.: Malvavisco e geleia com suas flores \(matosdecomer.com.br\)](https://matosdecomer.com.br). Acesso em: 15. Mar. 2023.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, C. M. *et al.* **Antioxidant, antihypertensive, anti-hyperglycemic, and antimicrobial activity of aqueous extracts from twelve native plants of the Yucatan coast**. PloS one, v. 14, n. 3, 2019.

SARTORI, C.V; THEODORO, H; MINELLO, V.L; PANSERA, R.M; BASSO, A; SCUR, L. **Plantas Alimentícias Não Convencionais – PANC**: resgatando a soberania alimentar e nutricional. Educs Acadêmico, 2020. p. 16-88.

SILVA, B.M.C; OLIVEIRA, D.E.C; FARIAS, B.L; COSTA, V.S; FERREIRA, V.B; NUNES, M.R.G; RESENDE, O. **Influência da secagem na qualidade fisiológica e coloração de sementes de feijão guandu**. Research, Society and Development, 2020. p. 1-12.

SILVA, E.G; TEBALDI, A.C; GERALDI, C.A.Q; LOSS, R.A; GUEDES, S.F; **influência da temperatura de secagem em camadas de espuma de polpa de graviola**. Engenharias: Tendências e Inovações/ Organizador Rômulo Maziero, Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, p, 31- 60. 2021.

SILVA, I.A; CAMPELO, L.H.B.P; PADILHA, M.R.F; SHINOHARA, N.K.S; **mecanismos de resistências das plantas alimentícias não convencionais (panc) e benefícios para a saúde humana**. Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agronômicas. v.15, n.1, 2018.

SIGRIST, S; SANTOS, N.N. **Plantas medicinais - aromáticas - condimentares**. 2018. Disponível em: [Clitória | Plantas Medicinais - Aromáticas - Condimentares \(ppmac.org\)](http://Clitória | Plantas Medicinais - Aromáticas - Condimentares (ppmac.org)). Acesso em: 21. Mar. 2023.

SALHI, M.; CHAATOUF, D.; RAILLANI, B.; AMARAQUI, S.; MEZRHAB, A. **Investigating The Effect Of Food Trays Porosity On The Drying Process**. Innovative Food Science And Emerging Technologies, v. 76, p. 1-19. 2022.

WELSH, Z; KHAN, M.I.H; KARIM, M.A. **Multiscale modeling for food drying: A homogenized diffusion approach**. Journal of Food Engineering, 2021. p. 1-12.

WELSH, Z.G; SIMPSON, M.J; KHAN, M.I.H; KARIM, A. **A multiscale approach to estimate the cellular diffusivity during food drying**. ScienceDirect, 2021. p. 1-17.

ZHU, Y; WANG, P; SUN, D; QU, Z; YU, B. **Multiphase porous media model with thermo-hydro and mechanical bidirectional coupling for food convective drying**. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2021. p. 1-14.

CAPITULO II- TÍTULO DO ARTIGO

Obtenção de Farinha das Flores Cunhã (*Clitoria ternatea* L.): Aspectos Térmicos, Físicos e Morfológicos

Anna Izaura Balbino dos Santos ¹, Henrique Valentim Moura ², Monica Tejo Cavalcanti ³ e Emmanuel Moreira Pereira ^{4*}

¹ Universidade Federal da Paraíba 1; anna.balbino09@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande 2; valentim_henrique@hotmail.com

³ Instituto Nacional do Semiárido 3; emmanuel.pereira@insa.gov.br

⁴ Instituto Nacional do Semiárido 4; monica.tejo@insa.gov.br

* Correspondence: emmanuel.pereira@insa.gov.br;

RESUMO: A utilização de diversos tipos de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) como forma alternativa para o consumo de nutrientes e minerais vem se tornando mais frequente na alimentação humana. Uma opção de PANC disponível e subexplorada é a cunhã (*Clitoria ternatea* L.) utilizada na alimentação de algumas culturas possuindo alegadas propriedades nutritivas e medicinais. Objetivou-se com este estudo a obtenção de farinhas das pétalas das flores de cunhã avaliando algumas de suas propriedades térmicas, físicas e morfológicas. As pétalas das flores foram desidratadas via secagem convectiva a 50, 60, 70 e 80 °C, sendo realizada a cinética de secagem com ajuste de modelos matemáticos aos dados. As farinhas foram ainda analisadas quanto a termogravimetria (TG/DTG), a parâmetros físicos (teor de água, índice de Carr, fator de Hausner e solubilidade) e a morfologia das partículas através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para cinética de secagem o melhor ajuste foi para o modelo de Page, embora todos os modelos analisados tenham se ajustado satisfatoriamente. A análise térmica revelou farinhas de elevada estabilidade térmica. As farinhas foram classificadas como de baixa coesividade. Quanto a morfologia, observou-se partículas de tamanhos variados e geometria indefinida. Este estudo fornece dados à comunidade acadêmica acerca do processamento das flores de cunhã, visando à valorização desta matéria-prima, oferecendo dados sobre a otimização do processo de secagem e contribuindo para viabilizar a exploração da mesma para fins industriais.

Palavras-chave: cinética de secagem, MEV, PANCs, termogravimetria

ABSTRACT: The use of various types of Non-Conventional Food Plants (PANCs) as an alternative source for nutrient and mineral consumption has become increasingly common in human diets. One underutilized PANC option is the butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.), which is used in the diets of some cultures and is claimed to possess nutritional and medicinal properties. This study aimed to produce flours from butterfly pea flowers and evaluate some of their thermal, physical, and morphological properties. The flowers were dehydrated using convective drying at 50, 60, 70, and 80 °C, with drying kinetics being modeled using

mathematical models fitted to the data. The flours were analyzed for thermogravimetry (TG/DTG), physical parameters (moisture content, Carr index, Hausner ratio, and solubility), and particle morphology using scanning electron microscopy (SEM). For drying kinetics, the best fit was the Page model, although all analyzed models fit satisfactorily. Thermal analysis revealed flours with high thermal stability. The flours were classified as having low cohesiveness. Morphologically, particles varied in size and had undefined geometry. This study provides data to the academic community regarding the processing of butterfly pea flowers, aiming to valorize this raw material by offering data on optimizing the drying process and contributing to its potential industrial exploitation.

KEYWORD: Drying kinetics, SEM, PANCs, Thermogravimetry.

4. Introdução

A *Clitoria ternatea* L. pertence à família das Fabaceae, e trata-se de uma planta trepadeira nativa da Ásia, de flores azuis ou brancas, popularmente conhecidas como “Cunhã” ou “Feijão borboleta” [1]. Comumente usada como planta ornamental pela vistosa floração, também são plantas alimentícias não convencionais (PANCs), suas flores azuis são comestíveis e comumente usadas na medicina indiana e como corantes naturais em alimentos e bebidas por todo o mundo [2].

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) são espécies de plantas ou partes delas que poderíamos consumir, mas que não fazem parte de nossos hábitos alimentares [3]. Diversas espécies de PANCs podem exercer efeitos fisiológicos benéficos, no que diz respeito ao trato digestivo, pois atuam sobre a microbiota intestinal, que tem papel fundamental na saúde e no equilíbrio do intestino. [4]. Pesquisas mais atuais têm identificado que, de modo geral, as PANCs apresentam fator nutricional superior a algumas hortaliças cultivadas, podendo ser um aporte importante na ingestão diária de vitaminas e minerais essenciais ao desenvolvimento humano, [5] estando ligado diretamente com a ODS 2 (Fome zero e Agricultura Sustentável), para garantir o acesso de todas as pessoas a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano. [6].

Com o objetivo de obter produtos de alta qualidade, muitas tecnologias têm sido cada vez mais empregadas para aumentar o tempo de conservação e a qualidade dos alimentos processados [7]. A tecnologia de secagem direcionada à redução do teor de água do material, limita o crescimento de microrganismos deteriorantes e aumenta a vida útil do produto. Diversas técnicas de secagem podem ser utilizadas em função das propriedades físico-químicas e dos aspectos sensoriais desejados em cada matéria-prima, como a liofilização, secagem por aspersão, leito fluidizado ou secagem convectiva [8].

Ao utilizar a secagem convectiva como meio de estabilizar a matéria-prima um advento interessante é a cinética de secagem, que quando descrita por modelos matemáticos, possibilita a

estimativa do tempo necessário para redução do teor de água do produto em diferentes condições

de secagem, de modo que se tornam ferramentas úteis para as tomadas de decisão e contribuem para a melhoria da eficiência do processo [9].

Diversos estudos envolvem a secagem de vegetais para os mais diversos fins, como o estudo de Alotaibi [10] onde avaliaram o teor de luteína em flores secas de calêndula (*Tagetes erecta*); no estudo de Moura [11] ao secarem cascas e sementes de tapiá (*Crataeva tapiá* L.) ou ainda na obtenção de farinha de casca de buriti (*Mauritia flexuosa*) como estratégia de valorização de resíduos de frutas nativas brasileiras [12].

Neste contexto esta pesquisa propõe a obtenção de farinhas oriundas das flores de cunhã estudando sua cinética de secagem, os aspectos térmicos, físicos e morfológico envolvidos no desenvolvimento das mesmas. Assim as farinhas deste estudo estarão disponíveis para diversas formulações alimentícias agregando ainda valor a matéria-prima deste estudo.

4.1 Material e Métodos

4.1.1 Matéria-prima e coleta

As flores azuis de cunhã (*Clitoria ternatea* L.) foram coletadas na floricultura local da cidade de Areia- PB, durante o mês de fevereiro no período da manhã, foi coletado aproximadamente 250 unidades de flores, sendo levadas ao laboratório de físico-química na Universidade Federal da Paraíba – Campuss III em Bananeiras-PB, onde foram retiradas aproximadamente 100 g de pétalas de flores para cada temperatura a ser utilizada.

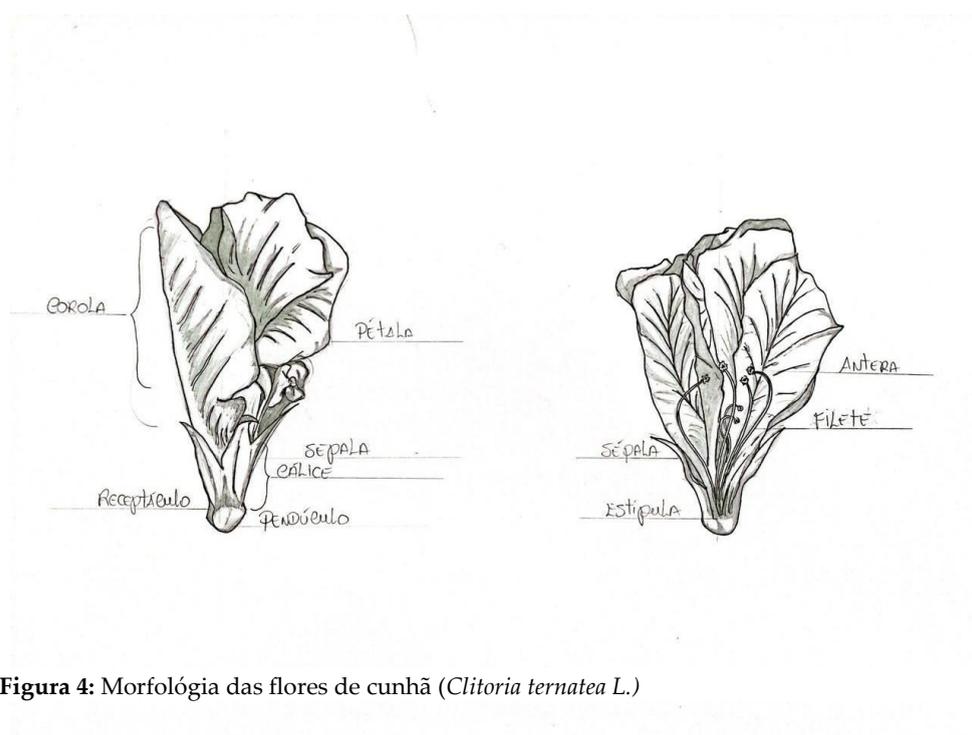


Figura 4: Morfologia das flores de cunhã (*Clitoria ternatea* L.)

4.1.2 Cinética de secagem

Três flores foram selecionadas e posteriormente foi retirado as pétalas de cada flor, onde foram depositadas em bandejas retangulares teladas. As amostras, com três repetições, foram

submetidas à secagem em secador convectivo nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de 1 m s⁻¹. As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Em seguida, foi determinado o teor de água das amostras (pétalas de flores) em estufa a 105°C. (IAL, 2008), sendo calculadas as razões do teor de água (Equação 1) e traçadas as curvas da razão do teor de água em função do tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto (b.s.);

X_i - teor de água inicial do produto (b.s.);

X_e - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa Statistica 7.0.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das pétalas das flores de cunhã

Modelo	Equação	Referências
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	Diamante et al. [13]
Lewis	$RX = \exp(-kt)$	Kaleta e Górnicki [14]
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	Diamante et al. [15]
Logaritmo	$RX = \exp(-kt^n) + c$	Yaldiz et al. [16]

Para seleção do melhor modelo matemático foram avaliados o coeficiente de determinação (R^2), o desvio quadrático médio - DQM (Equação 2) e o qui-quadrado - χ^2 (Equação 3). Sendo considerado como ajuste satisfatório o modelo que apresentou os maiores valores de R^2 e os menores valores de DQM e χ^2 .

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

χ^2 - qui-quadrado;

RX_{pred} - razão do teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} - razão do teor de água experimental;

N - número de observações.

n - número de constantes do modelo.

4.1.3 Obtenção das farinhas

Após o estudo da cinética, conhecendo-se o tempo correto de secagem, as pétalas das flores de cunhã (100g) já secas de cada temperatura, foram trituradas em moinho de bolas (RETSCH MM200), obtendo-se assim as farinhas, sendo em seguida armazenadas em embalagens laminadas até o momento das análises.

4.1.4 Análise termogravimétrica (TG/DTG) das farinhas

A análise termogravimétrica (TG/DTG) foi realizada em um equipamento da marca NETZSCH, modelo STA 449F3, sob atmosfera de nitrogênio (50 mL/min), a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, desde a temperatura ambiente até 1000 °C, com aproximadamente 3 mg de cada amostra, contida em cadinho fechado de alumina.

4.1.5 Propriedades físicas das farinhas

Os parâmetros físicos analisados para as farinhas foram: teor de água (IAL, 2008); o índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC) e o Fator de Hausner (FH), calculados segundo Wells (1988) e a solubilidade, determinada pelo método de Cano-Chauca et al. (2005).

4.1.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia das partículas das farinhas foi analisada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras foram fixadas em suportes (*stubs*) de alumínio, recoberto com fita dupla face de carbono, metalizadas com ouro durante 200 segundos (Ion Sputter Coater-G20) e micrografadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (VEGA4, TESCAN), utilizando-se ampliações de 500 e 1000x.

4.6.7 Análise estatística

Todas as análises físicas foram realizadas em triplicata, com apresentação dos resultados de média e desvios padrões. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e a diferença entre as médias foi determinada pelo teste de comparação múltipla de Tukey ($p \leq 0,05$) pelo software Assistat 7.7.

4.2 Resultados

Tabela 2 – Tempos de secagem e teores de água das pétalas das flores de cunhã.

Temperatura (°C)	Tempo de secagem (min)	Teor de água (% b.u.)	Teor de água (% b.s.)
50	600	6,78 ± 1,14 a	7,29 ± 1,32 a
60	360	4,60 ± 0,02 b	4,94 ± 0,02 ab
70	150	3,43 ± 0,76 bc	3,56 ± 0,81 bc
80	120	2,12 ± 0,87 c	2,18 ± 0,92 c

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das pétalas das flores de cunhã com coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)

Modelo	T (°C)	Parâmetros					
		a	k	R^2	DQM	χ^2	
Henderson e Pabis	50	0,8810	0,0088	0,9923	0,0370	0,0015	
	60	0,9687	0,0207	0,9986	0,0175	0,0003	
	70	0,9956	0,0347	0,9992	0,0122	0,0002	
	80	1,0148	0,0498	0,9993	0,0112	0,0001	
Lewis	T (°C)	k		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0110		0,9793	0,0605	0,0038	
	60	0,0217		0,9980	0,0209	0,0005	
	70	0,0349		0,9992	0,0123	0,0002	
Page	T (°C)	k	n	R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0392	0,7122	0,9987	0,0150	0,0002	
	60	0,0320	0,8970	0,9995	0,0102	0,0001	
	70	0,0328	1,0189	0,9992	0,0120	0,0002	
80	0,0381	1,0818	0,9998	0,0054	0,00003		
Logaritmo	T (°C)	a	k	c	R^2	DQM	χ^2
	50	0,8635	0,0096	0,0273	0,9930	0,0353	0,0014
	60	0,9639	0,0212	0,0080	0,9987	0,0170	0,0003
	70	1,0073	0,0331	0,0177	0,9995	0,0094	0,0001
80	1,0239	0,0481	0,0132	0,9996	0,0088	0,0001	

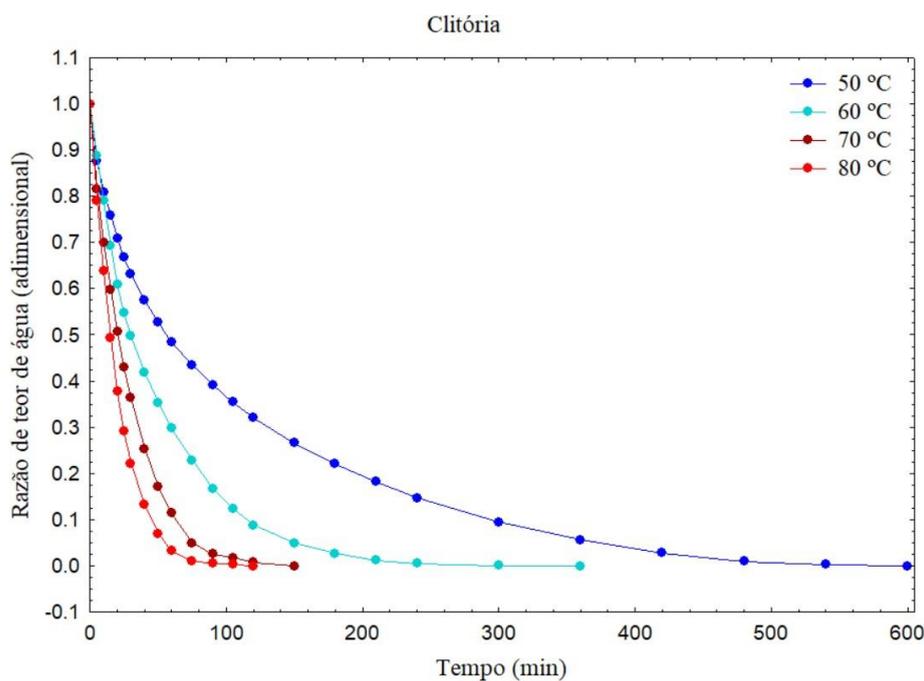


Figura 5 - Representação dos ajustes do modelo de Page aos dados da secagem das pétalas das flores de cunhã

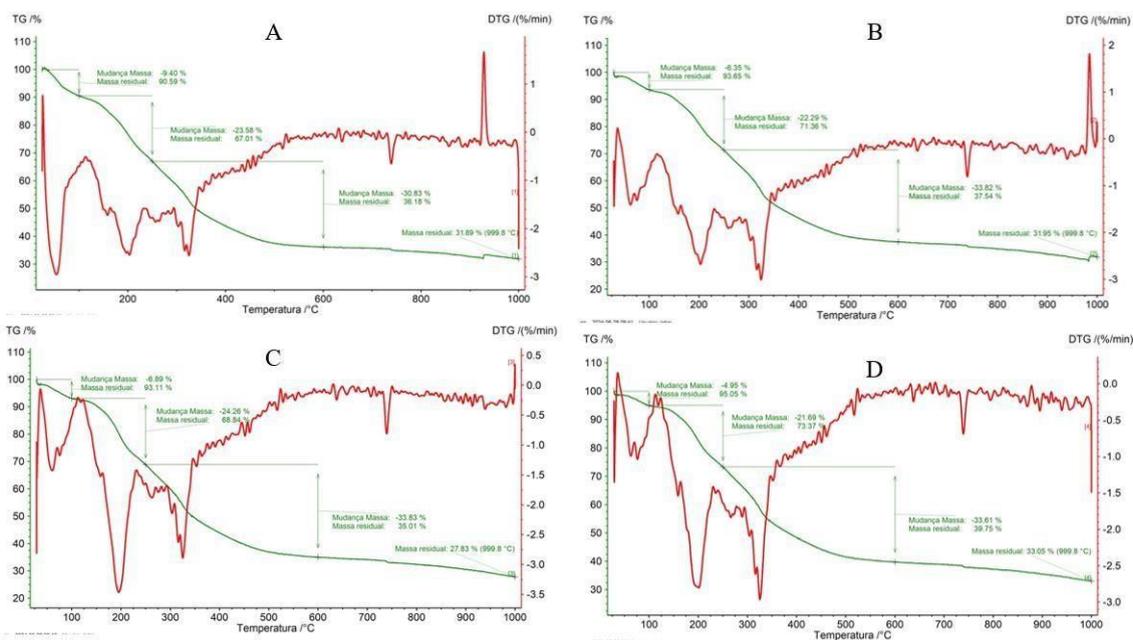


Figura 6 - Curvas termogravimétricas das farinhas de cunhã: (A) 50 °C; (B) 60 °C; (C) 70 °C; (D) 80 °C.

Tabela 4- Caracterização física das farinhas de cunhã

Parâmetros	Faixas de temperatura das farinhas de cunhã			
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Teor de água	6,78 ± 1,14 a	4,60 ± 0,02 b	3,43 ± 0,76 bc	2,12 ± 0,87 c
Índice de Carr (%)	37,29 ± 0,19 c	50,88 ± 0,13 a	40,76 ± 0,06 b	50,96 ± 0,01 a
Fator de Hausner	0,62 ± 0,01 a	0,49 ± 0,01 c	0,59 ± 0,01 b	0,49 ± 0,01 c
Solubilidade (%)	10,57 ± 0,46 b	9,91 ± 0,06 b	12,18 ± 0,33 a	12,80 ± 0,30 a

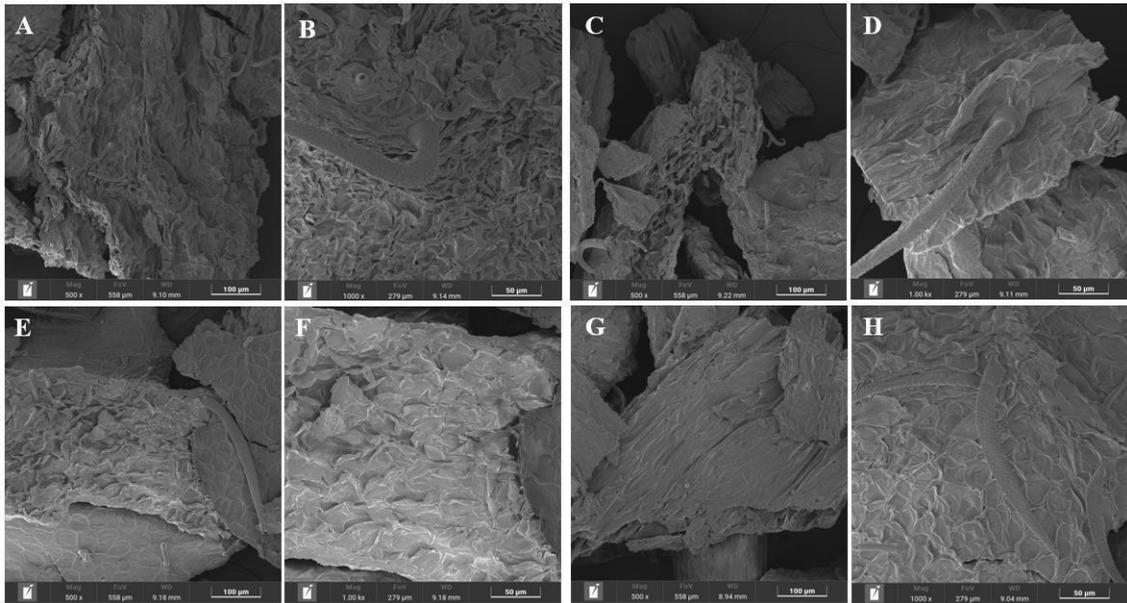


Figura 6 - Micrografias das farinhas de cunhã realizada no INSA,PB: (A) 50 °C - 500x; (B) 50 °C - 1000 x; (C) 60 °C - 500 x; (D) 60 °C - 1000 x; (E) 70 °C - 500 x; e (F) 70 °C - 1000 x; (G) 80 °C - 500 x; (H) 80 °C - 1000 x.

4.3 Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os dados sobre o tempo de secagem e os teores de água nas pétalas das flores de cunhã nas diferentes temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. É possível observar uma diminuição do tempo de secagem quando há um incremento da temperatura, bem como o teor de água final também é influenciado pela temperatura de secagem, sendo menor o valor quanto maior a temperatura.

As pétalas das flores de cunhã apresentaram um teor de água inicial médio entre 91,34 e 92,04% b.u e terminaram o processo com um teor de água médio entre 2,12 e 6,78% b.u, apresentando uma diminuição em torno de 84,98 a 89,85 b.u do seu valor inicial. Reduções do teor de água próximas ao relatado para as flores de cunhã foram observadas na secagem de resíduos de trapiá por Moura[10] com reduções em torno de 89%.

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem das cascas residuais. Observa-se que todos os modelos aplicados às cinéticas de secagem pétalas das flores de cunhã se ajustaram de forma satisfatória aos dados experimentais, apresentando R^2 acima de 0,9923. Os baixos valores de desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) confirmam o bom ajuste dos modelos matemáticos aplicados.

Pode-se observar um maior destaque para o modelo de Page, possuindo os maiores R^2 e menores DQM e χ^2 . Page também apresentou o melhor ajuste no estudo de Patel e Panwar [17] ao analisarem a secagem do *Cucumis callosus*, com alta eficiência de modelagem. A pesquisa de Díaz [16] sobre a cinética de secagem de cascas de abacate também revelou o melhor ajuste de Page com os mais baixos valores de χ^2 e DQM, indicadores usados para escolher modelos que minimizem o erro entre os dados observados e preditos. Getahun [18] destacam em sua revisão

que o modelo de Page, entre outros, é mais adequado para descrever o comportamento da secagem de diversos vegetais, como foi possível observar na modelagem da secagem das flores de cunhã, onde apresentou maior precisão nos ajustes.

Os valores absolutos para a constante de secagem (k) teve sinal positivo para todos os modelos, o que indica que a temperatura das flores durante a desidratação aumenta com o passar do tempo em relação à temperatura do meio, e segundo Madamba [19], a constante de secagem (k) pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente. Nota-se uma maior taxa de calor transferido para as pétalas das flores a partir da temperatura de 70 °C, onde temos um aumento da velocidade de migração da água do interior para a superfície da flor.

Na Figura 4 tem-se a representação dos ajustes do melhor modelo (Page) aos dados da secagem das flores, onde verifica-se grande similaridade no comportamento da secagem mesmo em diferentes temperaturas, durante os minutos iniciais. O gráfico revela não haver um período de taxa constante: esse período é observado quando a resistência de transferência de massa encontra-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície exposta ao ar ambiente seja superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície do material [20].

Observa-se ainda que no período inicial do processo (primeiros 100 minutos), nas temperaturas mais elevadas de secagem, os coeficientes angulares das curvas são maiores, indicativo de uma taxa de secagem mais rápida, devido à maior disponibilidade de água livre [19]. Esse fenômeno envolve um mecanismo que inclui a água nos estados líquido e de vapor, frequentemente caracterizado pela difusão efetiva. Essa propriedade é influenciada pela temperatura, pressão e teor de água do produto [21].

A análise termogravimétrica é uma técnica precisa que investiga a estabilidade térmica e o padrão de decomposição de polissacarídeos [22]. Na Figura 5 são apresentados os gráficos termogravimétricos (TG/DTG) das farinhas de flores de cunhã.

Os gráficos termogravimétricos revelam três estágios de perda de massa em todas as farinhas de cunhã obtidas. O primeiro estágio de perda de massa está associado a evaporação de água e outros compostos voláteis presentes nas farinhas [23]. O segundo estágio de perda de massa representa a decomposição de compostos orgânicos como carboidratos e proteínas presentes nas amostras, compostos que se decompõem em moléculas menores, que evaporam e levam à perda de massa [24]. Por fim o último estágio sugere a carbonização da amostra e ebulição de líquidos ou sublimação, que geram perdas de massa [25].

A massa residual média ao término do processo foi de 31% que junto a pequena perda de massa inicial (1 estágio) reforça a boa estabilidade térmica das farinhas, o que as torna adequadas para aplicações comerciais, em que a maioria dos alimentos é preparada a ~115 °C [26].

As curvas DTG revelam diferentes picos endotérmicos de acordo com o aumento da temperatura de obtenção das farinhas, sendo a farinha obtida a 80 °C a de pico mais intenso e a obtida a 50 °C a de menor intensidade.

Na Tabela 4 é apresentada a caracterização física das farinhas de cunhã nas diferentes temperaturas de obtenção. Nota-se uma redução do teor de água das farinhas de cunhã com o incremento da temperatura de secagem. O teor de água máximo permitido pela legislação brasileira em farinhas é de 15% [27], muito superior, portanto, aos valores determinados nas farinhas deste estudo.

Valores de Índice de Carr (IC) entre 15-20% indicam uma farinha com boa fluidez, entre 20-35% fluidez pobre, entre 35-45% fluidez ruim e > 45%, fluidez muito ruim [28]. Sob estes critérios as farinhas de cunhã estão classificadas entre fluidez ruim e muito ruim. Quanto ao fator de Fator de Hausner (FH), valores maiores que 1,4 indicam pós de alta coesividade e menores que 1,4 baixa coesividade [28] Assim as farinhas de cunhã apresentam baixa coesividade.

A solubilidade reflete na capacidade da farinha de formar uma solução ou suspensão em água e é uma importante propriedade de qualidade dos alimentos em pó, pois afeta as propriedades funcionais do material no sistema alimentar [29]. A baixa solubilidade das farinhas obtidas neste estudo, limita o uso em alimentos instantâneos [30].

Na Figura 6 são apresentadas as micrografias das farinhas de cunhã obtidas nas diferentes temperaturas de secagem. Observa-se nas farinhas estruturas de geometria irregular com partículas de diferentes tamanhos e superfície predominantemente rugosa. A temperatura de obtenção das farinhas não resultou em diferenças notórias de sua estrutura.

Nota-se o contorno da estrutura das células foliares em todas as partículas de todas as farinhas, estrutura está também observada por Xu [31] em estudo da morfologia superficial e microestrutura de flores e folhas de *Bauhinia variegata* L.. Observa-se estruturas capilares em todas as farinhas, esta estrutura é proveniente das folhas do receptáculo das flores deste estudo. Estruturas capilares também foram observadas nas micrografias de folha de arroz [32] e folhas de *Bauhinia variegata* L. [31].

4.4 Conclusões

Os modelos matemáticos aplicados as cinéticas de secagem das flores de cunhã representam satisfatoriamente o processo de secagem, possuindo ainda um grande destaque para o modelo de Page.

As farinhas de cunhã em todas as temperaturas de obtenção apresentam elevada estabilidade térmica, com destaque para a temperatura de 70°C, adequado teor de água frente a legislação vigente e baixa coesividade, apesar disso tem uso limitado em produtos instantâneos. A morfologia revelou partículas irregulares e de diversos tamanhos. As pétalas de cunhã confirmaram a sua utilização na alimentação, com destaque para a elaboração de uma farinha como forma de corante natural.

4.5 Referências

1. Kinupp, V.; Lorenzi, H. Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Nova Odessa: Ed. Plantarum, 768p. **2014**.
2. Pasukamonset, P., Kwon, O. & Adisakwattana, S. (2016). Alginate-based encapsulation of polyphenols from *Clitoria ternatea* petal flower extract enhances stability and biological activity under simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*, 61, 772-779. 10.1016/j.foodhyd.2016.06.039
3. Sartori, C. V.; Theodoro, H.; Minello, V. L.; Pansera, R. M.; Basso, A.; Scur, L. (2020). Plantas Alimentícias Não Convencionais – PANC: resgatando a soberania alimentar e nutricional. **Educs Acadêmico**, 16-88 p.
4. Paschoal, Valéria et al. Plantas Alimentícias não Convencionais (PANCs): o potencial da biodiversidade brasileira. *Revista Brasileira de Nutrição Funcional*, São Paulo, v. 33, n. 68, p. 8-14, **2016**.
5. Liberato, P. S.; Travassos, D. V.; Silva, G. M. B. PANCs – Plantas alimentícias não convencionais e seus benefícios nutricionais. *Environ, Smoke*, v. 2, n. 2, **2019**.
6. ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável - Ipea - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods2.html>>
7. Thao, B. T. T.; Vo, T. T. K.; Tran, T. Y. N.; Le, D. T.; Tran, T. T.; Bach, L. G.; Dao, T. P. Application of mathematical techniques to study the moisture loss kinetics and polyphenol degradation kinetics of mango (*Mangifera indica* L.) slices during heat pump drying by pilot equipment. *LWT*, v. 176, p. 114454, **2023**.
8. Alp, D.; Bulantekin, Ö. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. *European Food Research and Technology*, v. 247, p. 1333-1343, **2021**.
9. Araújo, W. D.; Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Hartmann Filho, C. P.; Martins, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 3, p. 448-457, **2017**.

10. Alotaibi, Hajer Naif; Anderson, Alfred K.; Sidhu, Jiwan S. Influence of lutein content of marigold flowers on functional properties of baked pan bread. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 66, n. 2, p. 162-168, **2021**.

11. Moura, H. V., de Figueirêdo, R. M. F., de Melo Queiroz, A. J., de Vilela Silva, E. T., Esmero, J. A. D., & Lisbôa, J. F. (2021). Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapiá residues. *Journal of Food Process Engineering*, 44(8), e13768.
12. Sousa, Wallace Carlos; MORAIS, Romulo Alves; ZUNIGA, Abraham Damian Giraldo. Buriti (*Mauritia flexuosa*) shell flour: Nutritional composition, chemical profile, and antioxidant potential as a strategy for valuing waste from native Brazilian fruits. *Food Research International*, p. 114578, 2024.
13. Diamante, L. M. et al. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *International journal of food science & technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 9, p. 1956-1962, 2010.
14. Kaleta, A.; Górnicki, K. Evaluation of drying models of apple (var. mcintosh) dried in a convective dryer. *International journal of food science & technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 5, p. 891-898, 2010.
15. Yaldiz, O.; Ertekin, C.; Uzun, H.I. Mathematical modeling of thin- layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, v. 26, p. 457-465, 2001.
16. Patel, M. R.; Panwar, N. L. (2022). Drying Kinetics, Quality Assessment And Socio Environmental Evaluation Of Solar Dried Underutilized Arid Vegetable Cucumis Callosus. *Energy Nexus*, 7, 1-12.
17. Díaz, M. C. R.; Hernández, E. J. G.; Caravaca, A. M. G.; Villanova, B. G.; Verardo, V. (2023). Mathematical Modelling Of Drying Kinetics Of Avocado Peels And Its Influence On Flavan-3-Ols Content And Antioxidant Activity. *Lwt- Food Science And Technology*, 176, 1-11.
18. Getahum, E; Delele, M. A.; Gabbiye, N.; Fanta, S. W.; Demissie, P.; Vanierschot, M. (2021). Importance Of Integrated Cfd And Product Quality Modeling Of Solar Dryers For Fruits And Vegetables: A Review. *Solar Energy*, 220, 88-110.
19. Madamba, P. S.; Driscoll, R. H.; Buckle, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.
20. Park, K. J., Antonio, G. C., Oliveira, R. D. E., & Park, K. J. B. (2007). *Conceitos de processos e equipamentos de secagem* (p. 2007). Campinas: UNICAMP.
21. Garware, T.; Sutar, N.; Thorat, B. Drying of Tomato Using Different Methods: Comparison of Dehydration and Rehydration Kinetics. *Drying Technology*, v. 28, n. 5, p. 651-658, 2010.
22. Safa, M.; Mourad, O.; Nadia, H.; Lamyae, L.; Ali I. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, v. 108, p. 303-310, 2017.
23. Hadidi, M.; Amoli, P. I.; Jelyani, A. Z.; Hasiri, Z.; Rouhafza, A.; Ibarz, A.; Khaksar, F. B.; Tabrizi, S. T. Polysaccharides from pineapple core as a canning by-product: Extraction optimization, chemical structure, antioxidant and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 163, p. 2357-2364, 2020.

24. Zhang, W.; Xiang, Q.; Zhao, J.; Mao, G.; Feng, W.; Chen, Y.; ... Zhao, T. Purification, structural elucidation and physicochemical properties of a polysaccharide from *Abelmoschus esculentus* L. (okra) flowers. *International journal of biological macromolecules*, v. 155, p. 740-750, **2020**.
25. Sharma, M.; Bains, A.; Sridhar, K.; Chawla, P.; Sharma, M. Process optimization for spray dried *Aegle marmelos* fruit nanomucilage: Characterization, functional properties, and in vitro antibiofilm activity against food pathogenic microorganisms. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 249, p. 126050, **2023**.
26. Araújo, J. S. F.; de Souza, E. L.; Oliveira, J. R.; Gomes, A. C. A.; Kotzebue, L. R. V.; da Silva Agostini, D. L.; ... Cavalcanti, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International journal of biological macromolecules*, v. 143, p. 991-999, **2020**.
27. Sakulnarmrat, K.; Sittiwong, W.; Konczak, I. Encapsulation of mangosteen pericarp anthocyanin-rich extract by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 57, n. 2, p. 1237-1247, **2022**.
28. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Brasília: Diário Oficial da União, **2005**.
29. Santhalakshmy, S.; Bosco, S. J. D.; Francis, S.; Sabeena, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, v. 274, p. 37-43, **2015**.
30. Nayak, C. A.; Rastogi, N. K. Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Drying Technology*, v. 28, n. 12, p. 1396-1404, **2010**.
31. Bezerra, C. V.; Amante, E. R.; Oliveira, D. C.; Rodrigues, A. M. C.; Silva, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed—Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial crops and products**, v. 41, p. 241-249, **2013**.
32. XU, Yan. Surface morphology and microstructure of *Bauhinia variegata* L. flowers and leaves. *Micron*, v. 177, p. 103575, **2024**.
33. Zheng, L., Cao, C., Chen, Z., Cao, L., Huang, Q., & Song, B. (2021). Efficient pesticide formulation and regulation mechanism for improving the deposition of droplets on the leaves of rice (*Oryza sativa* L.). *Pest management science*, 77(7), 3198-3207.

Elaboração de Farinha das Flores Hibisco Colibrir (*Malvaviscus arboreus* Cav.): Aspectos Físicos e Morfológicos

Anna Izaura Balbino dos Santos ¹, Henrique Valentim Moura ², Monica Tejo Cavalcanti ³ e Emmanuel Moreira Pereira ^{4*}

¹ Universidade Federal da Paraíba 1; anna.balbino09@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande 2; valentim_henrique@hotmail.com

³ Instituto Nacional do Semiárido 3; emmanuel.pereira@insa.gov.br

⁴ Instituto Nacional do Semiárido 4; monica.tejo@insa.gov.br

* Correspondence: emmanuel.pereira@insa.gov.br

RESUMO: A crescente utilização de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) para suplementação de nutrientes e minerais está gerando interesse na alimentação humana. O hibisco colibrir (*Malvaviscus arboreus* Cav.), uma PANC pouco explorada, é utilizada por algumas culturas e possui alegadas propriedades nutritivas e medicinais. Este estudo visou obter farinhas das pétalas de hibisco e analisar suas propriedades térmicas, físicas e morfológicas. As pétalas foram desidratadas por secagem convectiva a 50, 60, 70 e 80 °C, e os dados foram ajustados a modelos matemáticos para determinar a cinética de secagem. As farinhas foram avaliadas quanto à seus parâmetros físicos (teor de água, índice de Carr, fator de Hausner e solubilidade) e morfologia das partículas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O modelo de Logaritmo ajustou-se melhor para a cinética de secagem, embora todos os modelos analisados tenham sido adequados. A análise térmica indicou que as farinhas têm elevada estabilidade térmica e alta coesividade. A morfologia revelou partículas de tamanhos variados e formas indefinidas. Este estudo oferece informações valiosas para a comunidade acadêmica sobre o processamento de flores de hibisco, destacando a otimização do processo de secagem e promovendo a exploração industrial dessa matéria-prima.

Palavras-chave: cinética de secagem, MEV, PANCs.

ABSTRACT: The increasing use of Non-Conventional Food Plants (PANCs) for nutrient and mineral supplementation is gaining interest in human nutrition. The hibiscus colibrir (*Malvaviscus arboreus* Cav.), an underexplored PANC, is used in certain cultures and is reputed for its nutritional and medicinal properties. This study aimed to produce flours from hibiscus petals and analyze their thermal, physical, and morphological properties. The petals were dehydrated through convective drying at 50, 60, 70, and 80 °C, and the data were fitted to mathematical models to determine drying kinetics. The flours were evaluated for their physical parameters (moisture content, Carr index, Hausner ratio, and solubility) and particle morphology using scanning electron microscopy (SEM). The Logarithmic model provided the best fit for the drying kinetics, although all analyzed models were adequate. Thermal analysis indicated that the flours possess high thermal stability and cohesiveness. Morphological analysis revealed particles with varying sizes and irregular shapes. This study provides valuable insights for the academic community on hibiscus flower processing, emphasizing the optimization of the drying process and promoting the

industrial exploration of this raw material.

KEYWORD: Drying kinetics, SEM, PANCs.

5. Introdução

O *Malvaviscus arboreus* Cav. pertence à família *Malvaceae* popularmente conhecida por hibiscos colibri ou malva de colibri, é uma planta originária do México e da região norte da América do Sul, sendo muito utilizada no paisagismo das cidades na elaboração de cercas vivas (Callegari; Filho, 2017). [1]. Comumente usada como planta ornamental por seus galhos formarem cercas vivas fechadas, também são plantas alimentícias não convencionais (PANCs), suas flores vermelhas são comestíveis e comumente usadas na medicina tradicional e como corantes naturais em alimentos e bebidas por todo o mundo [1].

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) são espécies de plantas ou partes delas que poderíamos consumir, mas que não fazem parte de nossos hábitos alimentares [2]. Várias espécies de PANCs podem proporcionar efeitos positivos sobre o sistema digestivo ao influenciar a microbiota intestinal, que desempenha um papel crucial na saúde e no equilíbrio do intestino. [3]. Estudos recentes indicam que, em geral, as PANCs possuem um valor nutricional superior ao de algumas hortaliças cultivadas, podendo constituir uma fonte significativa de vitaminas e minerais essenciais para o desenvolvimento humano. [4].

Com o objetivo de obter produtos de alta qualidade, muitas tecnologias têm sido cada vez mais empregadas para aumentar o tempo de conservação e a qualidade dos alimentos processados [5]. A tecnologia de secagem, que visa reduzir o teor de umidade do material, impede o crescimento de microrganismos responsáveis pela deterioração e prolonga a durabilidade do produto. Diferentes métodos de secagem podem ser aplicados dependendo das propriedades físico-químicas e das características sensoriais desejadas para cada matéria-prima, incluindo liofilização, secagem por aspersão, leito fluidizado e secagem convectiva. [6].

A secagem convectiva, quando utilizada para estabilizar a matéria-prima, oferece um aspecto relevante: a cinética de secagem. Descrevendo essa cinética com modelos matemáticos, é possível estimar o tempo necessário para reduzir o teor de água do produto em diversas condições de secagem. Isso torna esses modelos ferramentas valiosas para a tomada de decisões e para aprimorar a eficiência do processo. [7].

Diversos estudos envolvem a secagem de vegetais para os mais diversos fins, como o estudo de Alotaibi [8] onde avaliaram o teor de luteína em flores secas de calêndula (*Tagetes erecta*); no estudo de Moura [9] ao secarem cascas e sementes de trapiá (*Crataeva tapia* L.) ou ainda na obtenção de farinha de casca de buriti (*Mauritia flexuosa*) como estratégia de valorização de resíduos de frutas nativas brasileiras [10].

Neste contexto esta pesquisa propõe a obtenção de farinhas oriundas das flores de

hibisco estudando sua cinética de secagem, os aspectos térmicos, físicos e morfológico envolvidos no desenvolvimento das mesmas. Assim as farinhas deste estudo estarão disponíveis para diversas formulações alimentícias agregando ainda valor a matéria-prima deste estudo.

5.1 Material e Métodos

5.1.1 Matéria- prima e coleta

As flores vermelhas de hibisco (*Malva viscosa* Cav.) foram coletadas na zona rural da cidade de Borborema e Bananeiras- PB, durante o mês de fevereiro no período da manhã, foi coletado aproximadamente 250 unidade de flores, sendo levadas ao laboratório de físico-química da Universidade Federal da Paraíba – Campus III – Bananeiras- PB, onde foram retiradas aproximadamente 100 g de pétalas de flores para cada temperatura a ser utilizada.

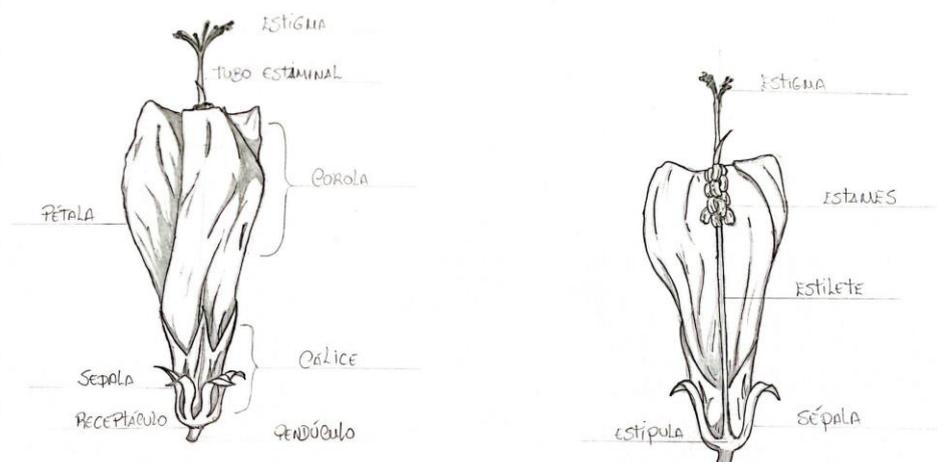


Figura 7: Morfologia das flores de hibisco (*Malva viscosa* Cav.)

5.1.2 Cinética de secagem

Três flores foram selecionadas e posteriormente foi retirado as pétalas de cada flor, onde foram depositadas em bandejas retangulares teladas. As amostras das pétalas, com três repetições, foram submetidas à secagem em secador convectivo nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de 1 m s⁻¹. As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Em seguida, foi determinado o teor de água das amostras (pétalas de flores) em estufa a 105°C. (IAL, 2008), sendo calculadas as razões do teor de água (Equação 1) e traçadas as curvas da razão do teor de água em função do tempo de secagem.

Em que:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto (b.s.);

X_i - teor de água inicial do produto (b.s.);

X_e - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa Statistica 7.0.

Tabela 5 - Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das pétalas das flores de hibisco

Modelo	Equação	Referências
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	Diamante et al. [12]
Lewis	$RX = \exp(-kt)$	Kaleta e Górnicki [13]
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	Diamante et al. [12]
Logaritmo	$RX = \exp(-kt^n) + c$	Yaldiz et al. [14]

Para seleção do melhor modelo matemático foram avaliados o coeficiente de determinação (R^2), o desvio quadrático médio - DQM (Equação 2) e o qui-quadrado - χ^2 (Equação 3). Sendo considerado como ajuste satisfatório o modelo que apresentou os maiores valores de R^2 e os menores valores de DQM e χ^2 .

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

χ^2 - qui-quadrado;

RX_{pred} - razão do teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} - razão do teor de água experimental;

N - número de observações.

n - número de constantes do modelo.

5.1.3 Obtenção das farinhas

Após o estudo da cinética, conhecendo-se o tempo correto de secagem, as pétalas das flores já secas de cada temperatura, foram trituradas em moinho de bolas (RETSCH MM200), obtendo-se assim as farinhas, sendo em seguida armazenadas em embalagens laminadas até o momento das análises.

5.1.4 Propriedades físicas das farinhas

Os parâmetros físicos analisados para as farinhas foram: teor de água (IAL, 2008); o índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC) e o Fator de Hausner (FH), calculados segundo Wells (1988) e a solubilidade, determinada pelo método de Cano-Chauca et al. (2005).

5.1.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia das partículas das farinhas foi analisada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras foram fixadas em suportes (*stubs*) de alumínio, recoberto com fita dupla face de carbono, metalizadas com ouro durante 200 segundos (Ion Sputter Coater-G20) e micrografadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (VEGA4, TESCAN), utilizando-se ampliações de 500 e 1000x.

5.1.6 Análise estatística

Todas as análises físicas foram realizadas em triplicata, com apresentação dos resultados de média e desvios padrões. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e a diferença entre as médias foi determinada pelo teste de comparação múltipla de Tukey ($p \leq 0,05$) pelo software Assistat 7.7.

5.2 Resultados

Tabela 6- Tempo de secagem e teores de água das pétalas de flores de hibisco

Temperatura (°C)	Tempo de secagem (min)	Teor de água (% b.u.)	Teor de água (% b.s.)
50	840	8,35 ± 0,03 a	9,12 ± 0,02 a
60	300	7,31 ± 0,01 b	7,88 ± 0,01 b
70	180	4,49 ± 0,42 c	4,70 ± 0,46 c
80	150	3,37 ± 0,19 d	3,49 ± 0,21 d

Tabela 7 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das pétalas das flores de hibisco com coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)

Modelo	T (°C)	Parâmetros				
		a	k	R^2	DQM	χ^2
Henderson e Pabis	50	0,9576	0,0039	0,9977	0,0223	0,0005
	60	1,0049	0,0141	0,9991	0,0137	0,0002
	70	0,9991	0,0311	0,9998	0,0058	0,0000
	80	1,0311	0,0496	0,9987	0,0160	0,0003
Lewis	T (°C)	k		R^2	DQM	χ^2
	50	0,0042		0,9956	0,0309	0,0010
	60	0,0140		0,9991	0,0138	0,0002
	70	0,0312		0,9998	0,0058	0,00004
	80	0,0479		0,9982	0,0189	0,0004
	T (°C)	k	n	R^2	DQM	χ^2
	50	0,0070	0,9046	0,9971	0,0249	0,0007

Page	60	0,0122	1,0328	0,9992	0,0126	0,0002	
	70	0,0306	1,0050	0,9998	0,0057	0,00004	
	80	0,0320	1,1318	0,9995	0,0098	0,0001	
	T (°C)	a	k	c	R²	DQM	χ^2
Logaritmo	50	0,9928	0,0035	0,0442	0,9983	0,0194	0,0004
	60	1,0313	0,0129	0,0361	0,9997	0,0073	0,0001
	70	1,0045	0,0304	0,0084	0,9999	0,0043	0,00002
	80	1,0325	0,0493	0,0020	0,9987	0,0160	0,0003

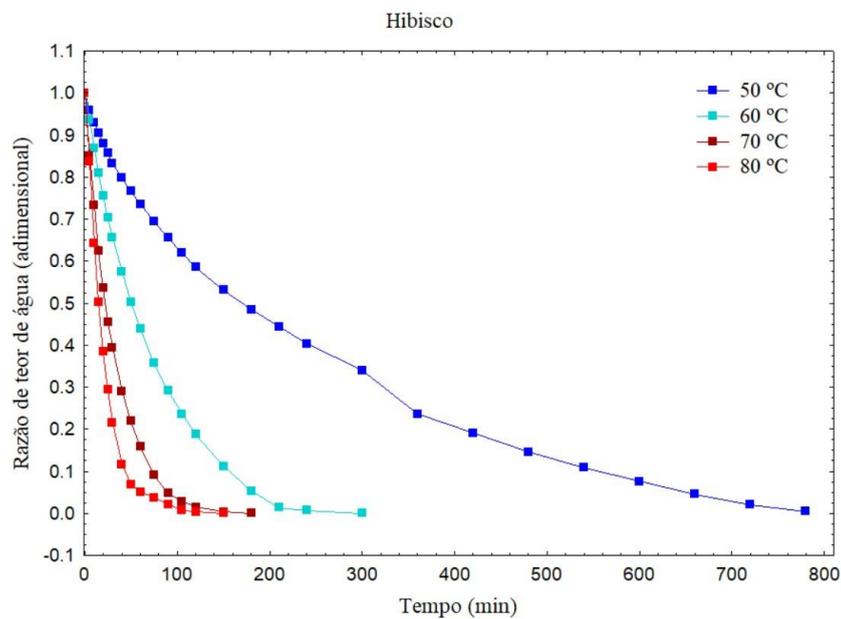


Figura 8 - Representação dos ajustes do modelo de Logaritmo aos dados da secagem das pétalas das flores de hibisco

Tabela 8- Caracterização física das farinhas de hibisco

Parâmetros	Faixas de temperatura das farinhas de hibisco			
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
Teor de água	8,34 ± 1,11 a	7,31 ± 0,09 b	4,48 ± 0,11 c	3,37 ± 0,10 d
Índice de Carr (%)	36,40 ± 0,98 b	49,33 ± 0,81 a	38,44 ± 1,33 b	50,95 ± 1,34 a
Fator de Hausner	1,57 ± 0,02 b	1,97 ± 0,03 a	1,62 ± 0,04 b	2,03 ± 0,06 a
Solubilidade (%)	9,98 ± 0,52 a	9,17 ± 0,19 ab	8,54 ± 0,87 b	9,48 ± 0,31 ab

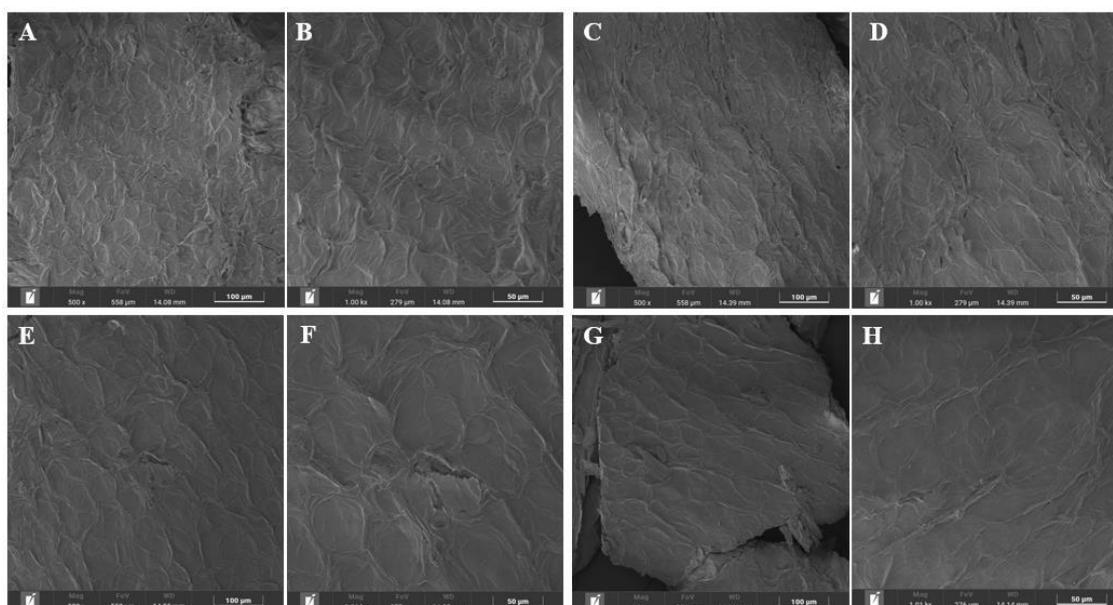


Figura 9 - Micrografias das farinhas de hibisco realizadas no INSA,PB: (A) 50 °C - 500x; (B) 50 °C - 1000 x; (C) 60 °C - 500 x; (D) 60 °C - 1000 x; (E) 70 °C - 500 x; e (F) 70 °C - 1000 x; (G) 80 °C - 500 x; (H) 80 °C - 1000 x.

5.3 Discussão

Na Tabela 6 são apresentados os dados sobre o tempo de secagem e os teores de água nas pétalas das flores de hibisco nas diferentes temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C. É possível observar uma diminuição do tempo de secagem quando há um incremento da temperatura, bem como o teor de água final também é influenciado pela temperatura de secagem, sendo menor o valor quanto maior a temperatura.

As pétalas das flores de hibisco apresentaram um teor de água inicial médio entre 94,79 e 92,41% b.u e terminaram o processo com um teor de água médio entre 3,37 e 8,35% b.u, apresentando uma diminuição em torno de 89,04 a 86,44 b.u do seu valor inicial. Reduções do teor de água próximas ao relatado para as pétalas de flores de hibisco foram observadas na secagem de resíduos de trapia por Moura[10] com reduções em torno de 89%.

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem das cascas residuais. Observa-se que todos os modelos aplicados às cinéticas de secagem das pétalas das flores de hibisco se ajustaram de forma satisfatória aos dados experimentais, apresentando R² acima de 0,9956. Os baixos valores de desvios quadráticos

médios(DQM) e qui-quadrado (χ^2) confirmam o bom ajuste dos modelos matemáticos aplicados.

Pode-se observar um maior destaque para o modelo de Logaritmo, possuindo os maiores R² e menores DQM e χ^2 . Logaritmo também apresentou o melhor ajuste no estudo de Patel e Panwar [15] ao analisarem a secagem das fatias de abacaxi (*Ananas comosus*), com alta eficiência de modelagem os mais baixos valores de χ^2 e DQM, indicadores usados para escolher modelos que minimizem o erro entre os dados observados e preditos [16]. Getahun [17] destacam em sua revisão que o modelo de Logaritmo, entre outros, é mais adequado para descrever o comportamento da secagem de diversos vegetais, como foi possível observar na modelagem da secagem das pétalas das flores de hibisco, onde apresentou maior precisão nos ajustes.

Os valores absolutos para a constante de secagem (k) teve sinal positivo para todos os modelos, o que indica que a temperatura das flores durante a desidratação aumenta com o passar do tempo em relação à temperatura do meio, e segundo Madamba [18] a constante de secagem (k) pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente. É possível notar-se uma maior taxa de calor transferido para as pétalas das flores a partir da temperatura de 70°C, onde temos um aumento da velocidade de migração da água do interior para a superfície das pétalas das flores.

Na Figura 7 tem-se a representação dos ajustes do melhor modelo (Logaritmo) aos dados da secagem das flores, onde verifica-se grande similaridade no comportamento da secagem mesmo em diferentes temperaturas, durante os minutos iniciais. O gráfico revela não haver um período de taxa constante: esse período é observado quando a resistência de transferência de massa encontra-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície exposta ao ar ambiente seja superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície do material [18].

Observa-se ainda que no período inicial do processo (primeiros 100 minutos), nas temperaturas mais elevadas de secagem, os coeficientes angulares das curvas são maiores, indicativo de uma taxa de secagem mais rápida, devido à maior disponibilidade de água livre [19]. Esse fenômeno envolve um mecanismo que inclui a água nos estados líquido e de vapor, frequentemente caracterizado pela difusão efetiva. Essa propriedade é influenciada pela temperatura, pressão e teor de água do produto [20].

Na Tabela 7 é apresentada a caracterização física das farinhas de hibisco nas diferentes temperaturas de obtenção. Nota-se uma redução do teor de água das farinhas de hibisco com o incremento da temperatura de secagem. O teor de água máximo permitido pela legislação brasileira em farinhas é de 15% [27], muito superior, portanto, aos valores determinados nas

farinhas deste estudo.

Valores de Índice de Carr (IC) entre 15-20% indicam uma farinha com boa fluidez, entre 20-35% fluidez pobre, entre 35-45% fluidez ruim e $> 45\%$, fluidez muito ruim [28]. Sob estes critérios as farinhas de hibisco estão classificadas entre fluidez ruim e muito ruim. Quanto ao

fator de Fator de Hausner (FH), valores maiores que 1,4 indicam pós de alta coesividade e menores que 1,4 baixa coesividade [28] Assim as farinhas de hibisco apresentam alta coesividade.

A solubilidade reflete na capacidade da farinha de formar uma solução ou suspensão em água e é uma importante propriedade de qualidade dos alimentos em pó, pois afeta as propriedades funcionais do material no sistema alimentar [29]. A baixa solubilidade das farinhas obtidas neste estudo variam de acordo com a temperatura, apresentando uma melhor solubilidade nas temperaturas iniciais (50 e 60 °C), mostrando que essas temperaturas seriam a mais indicada para o uso em alimentos instantâneos [30].

Na Figura 8 são apresentadas as micrografias das farinhas de hibisco obtidas nas diferentes temperaturas de secagem. Observa-se nas farinhas estruturas de geometria irregular com partículas de diferentes tamanhos e superfície mais compacta e regular. A temperatura de obtenção das farinhas não resultou em diferenças notórias de sua estrutura.

Nota-se o contorno da estrutura das células foliares em todas as partículas de todas as farinhas, estrutura está também observada por Xu [31] em estudo da morfologia superficial e microestrutura de flores e folhas de *Bauhinia variegata* L.. Observa-se estruturas capilares em todas as farinhas, esta estrutura é proveniente das folhas do receptáculo das flores deste estudo. Estruturas capilares também foram observadas nas micrografias de folha de arroz [32] e folhas de *Bauhinia variegata* L. [31].(k) pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente . Nota-se uma maior taxa de calor transferido para as pétalas das flores a partir da temperatura de 70 °C, onde temos um aumento da velocidade de migração da água do interior para a superfície da flor.

5.4 Conclusões

Os modelos matemáticos aplicados à cinética de secagem das pétalas de hibisco demonstraram uma boa representação do processo de secagem, com o modelo Logarítmico se destacando especialmente evidenciado a temperatura de 70°C.

As farinhas obtidas a partir das pétalas de hibisco, em todas as temperaturas analisadas, apresentaram alta estabilidade térmica, teor de água conforme as normas vigentes e baixa coesividade, embora seu uso seja restrito em produtos instantâneos. A análise morfológica revelou partículas de tamanhos variados e formas irregulares. As pétalas de hibisco confirmaram sua aplicabilidade na alimentação, especialmente como uma opção para a produção de farinha utilizada como corante natural.

5.5 Referências

1. Callegari, C.R.; Matos Filhos, A.M. **Plantas Alimentícias Não Convencionais – PANCS.**

- Florianópolis: Epagri, 2017. P. 9-24.
2. Sartori, C. V.; Theodoro, H.; Minello, V. L.; Pansera, R. M.; Basso, A.; Scur, L. (2020). Plantas Alimentícias Não Convencionais – PANC: resgatando a soberania alimentar e nutricional. *Educs Acadêmico*, 16-88 p.
 3. Paschoal, Valéria et al. Plantas Alimentícias não Convencionais (PANCs): o potencial da biodiversidade brasileira. *Revista Brasileira de Nutrição Funcional*, São Paulo, v. 33, n. 68, p. 8-14, 2016.
 4. Liberato, P. S.; Travassos, D. V.; Silva, G. M. B. PANCs – Plantas alimentícias não convencionais e seus benefícios nutricionais. *Environ, Smoke*, v. 2, n. 2, 2019.
 5. Thao, B. T. T.; Vo, T. T. K.; Tran, T. Y. N.; Le, D. T.; Tran, T. T.; Bach, L. G.; Dao, T. P. Application of mathematical techniques to study the moisture loss kinetics and polyphenol degradation kinetics of mango (*Mangifera indica* L.) slices during heat pump drying by pilot equipment. *LWT*, v. 176, p. 114454, 2023.
 6. Alp, D.; Bulantekin, Ö. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. *European Food Research and Technology*, v. 247, p. 1333- 1343, 2021.
 7. Araújo, W. D.; Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Hartmann Filho, C. P.; Martins, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
 8. Alotaibi, Hajer Naif; Anderson, Alfred K.; Sidhu, Jiwan S. Influence of lutein content of marigold flowers on functional properties of baked pan bread. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 66, n. 2, p. 162-168, 2021.
 9. Moura, H. V., de Figueirêdo, R. M. F., de Melo Queiroz, A. J., de Vilela Silva, E. T., Esmero, J. D., & Lisbôa, J. F. (2021). Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapiá residues. *Journal of Food Process Engineering*, 44(8), e13768.
 11. Sousa, Wallace Carlos; MORAIS, Romulo Alves; ZUNIGA, Abraham Damian Giraldo. Burity (*Mauritia flexuosa*) shell flour: Nutritional composition, chemical profile, and antioxidant potential as a strategy for valuing waste from native Brazilian fruits. *Food Research International*, p. 114578, 2024.
 12. Diamante, L. M. et al. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *International journal of food science & technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 9, p. 1956-1962, 2010.
 13. Kaleta, A.; Górnicki, K. Evaluation of drying models of apple (var. mcintosh) dried in a convective dryer. *International journal of food science & technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 5, p. 891-898, 2010.

14. Yaldiz, O.; Ertekin, C.; Uzun, H.I. Mathematical modeling of thin- layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, v. 26, p. 457-465, **2001**.
15. Patel, M. R.; Panwar, N. L. (2022). Drying Kinetics, Quality Assessment And Socio Environmental Evaluation Of Solar Dried Underutilized Arid Vegetable Cucumis Callosus. *Energy Nexus*, 7, 1-12.
16. Biswas, R.; Mohammad, A. H.; Zzaman, W.; (2022). Thin Layer Modeling of Drying Kinetics, Rehydration Kinetics and Color Changer of Osmotic Pre-Treated Pineapple (*Ananas comosus*) Slices During Drying: Development of a Mechanistic Model For Mass Transfer. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 8.
17. Getahum, E; Delele, M. A.; Gabbiye, N.; Fanta, S. W.; Demissie, P.; Vanierschot, M. (2021). Importance Of Integrated Cfd And Product Quality Modeling Of Solar Dryers For Fruits And Vegetables: A Review. *Solar Energy*, 220, 88-110.
18. Madamba, P. S.; Driscoll, R. H.; Buckle, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v. 29, n. 1, p. 75-97, **1996**.
19. Park, K. J., Antonio, G. C., Oliveira, R. D. E., & Park, K. J. B. (2007). Conceitos de processos e equipamentos de secagem (p. 2007). Campinas: UNICAMP.
20. Garware, T.; Sutar, N.; Thorat, B. Drying of Tomato Using Different Methods: Comparison of Dehydration and Rehydration Kinetics. *Drying Technology*, v. 28, n. 5, p. 651-658, **2010**.
21. Safa, M.; Mourad, O.; Nadia, H.; Lamyae, L.; Ali I. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, v. 108, p. 303-310, **2017**.
22. Hadidi, M.; Amoli, P. I.; Jelyani, A. Z.; Hasiri, Z.; Rouhafza, A.; Ibarz, A.; Khaksar, F. B.; Tabrizi, S. T. Polysaccharides from pineapple core as a canning by-product: Extraction optimization, chemical structure, antioxidant and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 163, p. 2357-2364, **2020**.
23. Zhang, W.; Xiang, Q.; Zhao, J.; Mao, G.; Feng, W.; Chen, Y.; ... Zhao, T. Purification, structural elucidation and physicochemical properties of a polysaccharide from *Abelmoschus esculentus* L. (okra) flowers. *International journal of biological macromolecules*, v. 155, p. 740-750, **2020**.
24. Sharma, M.; Bains, A.; Sridhar, K.; Chawla, P.; Sharma, M. Process optimization for spray dried *Aegle marmelos* fruit nanomucilage: Characterization, functional properties, and in vitro antibiofilm activity against food pathogenic microorganisms. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 249, p. 126050, **2023**.
25. Araújo, J. S. F.; de Souza, E. L.; Oliveira, J. R.; Gomes, A. C. A.; Kotzebue, L. R. V.; da Silva Agostini, D. L.; ... Cavalcanti, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by lyophilization using maltodextrin and

- maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International journal of biological macromolecules*, v. 143, p. 991-999, **2020**.
26. Sakulnarmrat, K.; Sittiwong, W.; Konczak, I. Encapsulation of mangosteen pericarp anthocyanin-rich extract by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*,
 - a. v. 57, n. 2, p. 1237-1247, **2022**.
 27. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Brasília: Diário Oficial da União, **2005**.
 28. Santhalakshmy, S.; Bosco, S. J. D.; Francis, S.; Sabeena, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, v. 274, p. 37-43, **2015**.
 29. Nayak, C. A.; Rastogi, N. K. Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Drying Technology*, v. 28, n. 12, p. 1396-1404, **2010**.
 30. Bezerra, C. V.; Amante, E. R.; Oliveira, D. C.; Rodrigues, A. M. C.; Silva, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed—Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial crops and products**, v. 41, p. 241-249, **2013**.
 31. XU, Yan. Surface morphology and microstructure of *Bauhinia variegata* L. flowers and leaves. *Micron*, v. 177, p. 103575, 2024.
 32. Zheng, L., Cao, C., Chen, Z., Cao, L., Huang, Q., & Song, B. (2021). Efficient pesticide formulation and regulation mechanism for improving the deposition of droplets on the leaves of rice (*Oryza sativa* L.). *Pest management science*, 77(7), 3198-3207.

6 ANEXOS



Type of the Paper (Article, Review, Communication, etc.) 1

Title 2

Firstname Lastname ¹, Firstname Lastname ² and Firstname Lastname ^{3,*} 3

¹ Affiliation 1; e-mail@e-mail.com 4

² Affiliation 2; e-mail@e-mail.com 5

^{*} Correspondence: e-mail@e-mail.com; Tel.: (optional; include country code; if there are multiple corresponding authors, add author initials) 6-7

Abstract: A single paragraph of about 200 words maximum. For research articles, abstracts should give a pertinent overview of the work. We strongly encourage authors to use the following style of structured abstracts, but without headings: (1) Background: Place the question addressed in a broad context and highlight the purpose of the study; (2) Methods: briefly describe the main methods or treatments applied; (3) Results: summarize the article’s main findings; (4) Conclusions: indicate the main conclusions or interpretations. The abstract should be an objective representation of the article and it must not contain results that are not presented and substantiated in the main text and should not exaggerate the main conclusions. 8-15

Keywords: keyword 1; keyword 2; keyword 3 (List three to ten pertinent keywords specific to the article yet reasonably common within the subject discipline.) 16-17

0. How to Use This Template 19

The template details the sections that can be used in a manuscript. Note that each section has a corresponding style, which can be found in the “Styles” menu of Word. Sections that are not mandatory are listed as such. The section titles given are for articles. Review papers and other article types have a more flexible structure. 20-23

Remove this paragraph and start section numbering with 1. For any questions, please contact the editorial office of the journal or support@mdpi.com. 24-25

1. Introduction 26

The introduction should briefly place the study in a broad context and highlight why it is important. It should define the purpose of the work and its significance. The current state of the research field should be carefully reviewed and key publications cited. Please highlight controversial and diverging hypotheses when necessary. Finally, briefly mention the main aim of the work and highlight the principal conclusions. As far as possible, please keep the introduction comprehensible to scientists outside your particular field of research. References should be numbered in order of appearance and indicated by a numeral or numerals in square brackets—e.g., [1] or [2,3], or [4–6]. See the end of the document for further details on references. 27-35

2. Materials and Methods 36

The Materials and Methods should be described with sufficient details to allow others to replicate and build on the published results. Please note that the publication of your manuscript implicates that you must make all materials, data, computer code, and protocols associated with the publication available to readers. Please disclose at the submission stage any restrictions on the availability of materials or information. New methods and protocols should be described in detail while well-established methods can be briefly described and appropriately cited. 37-45

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname Lastname

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Research manuscripts reporting large datasets that are deposited in a publicly available database should specify where the data have been deposited and provide the relevant accession numbers. If the accession numbers have not yet been obtained at the time of submission, please state that they will be provided during review. They must be provided prior to publication.

Interventionary studies involving animals or humans, and other studies that require ethical approval, must list the authority that provided approval and the corresponding ethical approval code.

3. Results

This section may be divided by subheadings. It should provide a concise and precise description of the experimental results, their interpretation, as well as the experimental conclusions that can be drawn.

3.1. Subsection

3.1.1. Subsubsection

Bulleted lists look like this:

- First bullet;
- Second bullet;
- Third bullet.

Numbered lists can be added as follows:

1. First item;
2. Second item;
3. Third item.

The text continues here.

3.2. Figures, Tables and Schemes

All figures and tables should be cited in the main text as Figure 1, Table 1, etc.



Figure 1. This is a figure. Schemes follow the same formatting.

Table 1. This is a table. Tables should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Title 1	Title 2	Title 3
entry 1	data	data
entry 2	data	data ¹

¹ Tables may have a footer.

The text continues here (Figure 2 and Table 2).

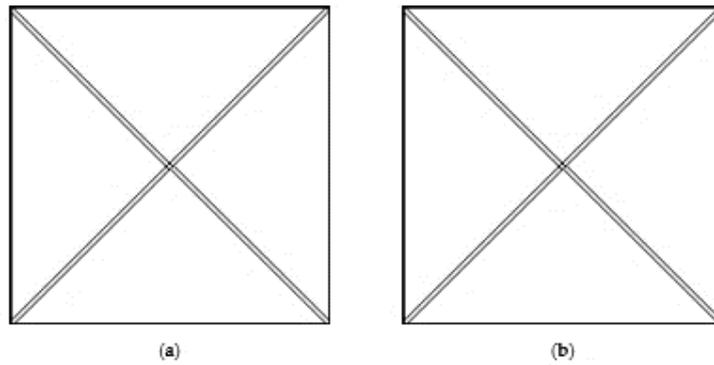


Figure 2. This is a figure. Schemes follow another format. If there are multiple panels, they should be listed as: (a) Description of what is contained in the first panel; (b) Description of what is contained in the second panel. Figures should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Table 2. This is a table. Tables should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Title 1	Title 2	Title 3	Title 4
entry 1 *	data data data	data data data	data data data
entry 2	data data	data data	data data
entry 3	data data data	data data data	data data data
entry 4	data data	data data	data data

* Tables may have a footer.

3.3. Formatting of Mathematical Components

This is example 1 of an equation:

$$a = 1, \tag{1}$$

the text following an equation need not be a new paragraph. Please punctuate equations as regular text.

This is example 2 of an equation:

$$a = b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + p + q + r + s + t + u + v + w + x + y + z \tag{2}$$

the text following an equation need not be a new paragraph. Please punctuate equations as regular text.

Theorem-type environments (including propositions, lemmas, corollaries etc.) can be formatted as follows:

Theorem 1. Example text of a theorem. Theorems, propositions, lemmas, etc. should be numbered sequentially (i.e., Proposition 2 follows Theorem 1). Examples or Remarks use the same formatting, but should be numbered separately, so a document may contain Theorem 1, Remark 1 and Example 1.

The text continues here. Proofs must be formatted as follows:	92
Proof of Theorem 1. Text of the proof. Note that the phrase “of Theorem 1” is optional if it is clear which theorem is being referred to. Always finish a proof with the following symbol. □	93 94 95
The text continues here.	96
4. Discussion	97
Authors should discuss the results and how they can be interpreted from the perspective of previous studies and of the working hypotheses. The findings and their implications should be discussed in the broadest context possible. Future research directions may also be highlighted.	98 99 100 101
5. Conclusions	102
This section is not mandatory but can be added to the manuscript if the discussion is unusually long or complex.	103 104
6. Patents	105
This section is not mandatory but may be added if there are patents resulting from the work reported in this manuscript.	106 107
Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at www.mdpi.com/xxx/s1 , Figure S1: title; Table S1: title; Video S1: title.	108 109
Author Contributions: For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “Conceptualization, X.X. and Y.Y.; methodology, X.X.; software, X.X.; validation, X.X., Y.Y. and Z.Z.; formal analysis, X.X.; investigation, X.X.; resources, X.X.; data curation, X.X.; writing—original draft preparation, X.X.; writing—review and editing, X.X.; visualization, X.X.; supervision, X.X.; project administration, X.X.; funding acquisition, Y.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the CRediT taxonomy for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.	110 111 112 113 114 115 116 117
Funding: Please add: “This research received no external funding” or “This research was funded by NAME OF FUNDER, grant number XXX” and “The APC was funded by XXX”. Check carefully that the details given are accurate and use the standard spelling of funding agency names at https://search.crossref.org/funding . Any errors may affect your future funding.	118 119 120 121
Data Availability Statement: We encourage all authors of articles published in MDPI journals to share their research data. In this section, please provide details regarding where data supporting reported results can be found, including links to publicly archived datasets analyzed or generated during the study. Where no new data were created, or where data is unavailable due to privacy or ethical restrictions, a statement is still required. Suggested Data Availability Statements are available in section “MDPI Research Data Policies” at https://www.mdpi.com/ethics .	122 123 124 125 126 127
Acknowledgments: In this section, you can acknowledge any support given which is not covered by the author contribution or funding sections. This may include administrative and technical support, or donations in kind (e.g., materials used for experiments).	128 129 130
Conflicts of Interest: Declare conflicts of interest or state “The authors declare no conflicts of interest.” Authors must identify and declare any personal circumstances or interest that may be perceived as inappropriately influencing the representation or interpretation of reported research results. Any role of the funders in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results must be declared in this section. If there is no role, please state “The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results”.	131 132 133 134 135 136 137 138 139

Appendix A

The appendix is an optional section that can contain details and data supplemental to the main text—for example, explanations of experimental details that would disrupt the flow of the main text but nonetheless remain crucial to understanding and reproducing the research shown; figures of replicates for experiments of which representative data is shown in the main text can be added here if brief, or as Supplementary data. Mathematical proofs of results not central to the paper can be added as an appendix.

Appendix B

All appendix sections must be cited in the main text. In the appendices, Figures, Tables, etc. should be labeled starting with “A”—e.g., Figure A1, Figure A2, etc.

References

References must be numbered in order of appearance in the text (including citations in tables and legends) and listed individually at the end of the manuscript. We recommend preparing the references with a bibliography software package, such as EndNote, ReferenceManager or Zotero to avoid typing mistakes and duplicated references. Include the digital object identifier (DOI) for all references where available.

Citations and references in the Supplementary Materials are permitted provided that they also appear in the reference list here.

In the text, reference numbers should be placed in square brackets [] and placed before the punctuation; for example [1], [1–3] or [1,3]. For embedded citations in the text with pagination, use both parentheses and brackets to indicate the reference number and page numbers; for example [5] (p. 10), or [6] (pp. 101–105).

1. Author 1, A.B.; Author 2, C.D. Title of the article. *Abbreviated Journal Name* Year, Volume, page range. 163
2. Author 1, A.; Author 2, B. Title of the chapter. In *Book Title*, 2nd ed.; Editor 1, A., Editor 2, B., Eds.; Publisher: Publisher Location, Country, 2007; Volume 3, pp. 154–196. 164
3. Author 1, A.; Author 2, B. *Book Title*, 3rd ed.; Publisher: Publisher Location, Country, 2008; pp. 154–196. 165
4. Author 1, A.B.; Author 2, C. Title of Unpublished Work. *Abbreviated Journal Name* year, phrase indicating stage of publication (submitted; accepted; in press). 167
5. Author 1, A.B. (University, City, State, Country); Author 2, C. (Institute, City, State, Country). Personal communication, 2012. 169
6. Author 1, A.B.; Author 2, C.D.; Author 3, E.F. Title of Presentation. In *Proceedings of the Name of the Conference*, Location of Conference, Country, Date of Conference (Day Month Year). 170
7. Author 1, A.B. Title of Thesis. Level of Thesis, Degree-Granting University, Location of University, Date of Completion. 171
8. Title of Site. Available online: URL (accessed on Day Month Year). 173

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.