



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CINÉTICA DE SECAGEM E QUALIDADE DO PÓ ROSA OBTIDO DAS BRÁCTEAS
DE *BOUGAINVILLEA GLABRA* PARA APLICAÇÃO COMO CORANTE NATURAL
EM ALIMENTOS**

Larissa Almeida Antunes

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CINÉTICA DE SECAGEM E QUALIDADE DO PÓ ROSA OBTIDO DAS BRÁCTEAS
DE *BOUGAINVILLEA GLABRA* PARA APLICAÇÃO COMO CORANTE NATURAL
EM ALIMENTOS**

Larissa Almeida Antunes

Sob a orientação da Professora

Prof. Dr^a. Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em ciência de Alimentos.

Seropédica, RJ

2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A627c ANTUNES, LARISSA ALMEIDA, 1993-
Cinética de secagem e qualidade do pó rosa obtido das brácteas de Bougainvillea glabra para aplicação como corante natural em alimentos. / Larissa Almeida Antunes. - Rio de Janeiro, 2023.
133 f.

Orientadora: Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa. Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, PPGCTA/UFRRJ, 2023.

1. betalainas. 2. corante natural. 3. cinética de secagem. 4. qualidade tecnológica. 5. aplicação em alimentos. I. Martins Jacintho Barbosa, Maria Ivone, 1977-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. PPGCTA/UFRRJ III. Título.

Ficha catalográfica elaborada com os dados fornecidos pela autora.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



TERMO Nº 49/2023 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.003605/2023-80

Seropédica-RJ, 25 de janeiro de 2023.

LARISSA ALMEIDA ANTUNES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.
Dissertação APROVADA EM 23/01/2023.

MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA (Dra) UFRRJ (orientadora)

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA (Dra) UFRRJ

RENATA OLIVEIRA SANTOS (Dra)

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 29/01/2023 07:38)

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DTA (12.28.01.00.00.00.46)

Matrícula: ###069#6

(Assinado digitalmente em 29/01/2023 18:42)

MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DTA (12.28.01.00.00.00.46)

Matrícula: ###243#8

(Assinado digitalmente em 26/01/2023 12:31)

RENATA OLIVEIRA SANTOS

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.708-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **49**, ano: **2023**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **25/01/2023** e o código de verificação: **0134f7803a**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais e à minha irmã. Sem eles nada seria possível!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao Universo Celeste por todas as bênçãos e conquistas! A força e a coragem estiveram comigo em momentos difíceis e fizeram com que eu não desistisse diante dos obstáculos enfrentados no Mestrado Acadêmico.

Sou grata aos meus pais Izaura, Alberto e à minha irmã, Marília por todo amor, dedicação, amparo e suporte que recebi durante mais este ciclo profissional. Sem esta base nada seria possível! Grata por tudo!!!

Agradeço à Dr^a Maria Ivone, por ter me orientado e amparado durante os desafios enfrentados na pós-graduação. Sou grata pela sua dedicação, apoio e paciência! Com certeza é um exemplo a seguir em minha vida acadêmica. Sou grata por todo suporte!!!

Eu agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Alojamento da Pós-graduação, minha segunda casa, que por um longo período me acolheu e me deu um lar!

Sou grata ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Rural pela oportunidade de me profissionalizar em uma área de grande interesse!!! Tenho gratidão pelo apoio financeiro que me foi concedido pelo CNPq no fomento da bolsa. Sem este suporte nada seria possível!

Deixo meu agradecimento aos professores, colegas e amigos do laboratório pela ajuda que recebi na caminhada. Foram valiosíssimas todas as trocas de experiência e conhecimento! Nenhuma pesquisa é realizada sozinha e sou grata por todo apoio, suporte e ajuda que recebi de cada um!

Agradeço às amigas que fiz durante o período em que morei no coletivo. Foi uma época de grande aprendizado pessoal e profissional, onde tive a oportunidade de conviver diariamente com mulheres e homens fortes, inteligentes e dedicados. Foi um privilégio poder compartilhar a vida e a rotina diária com tantos pós-graduandos de religiões, crenças e culturas diferentes, até mesmo internacionais. Certamente fiz amigas para toda vida! Sou grata!!!

RESUMO

ANTUNES, Larissa Almeida. **Cinética de secagem, caracterização físico-química e toxicidade do pó rosa obtido de brácteas de *Bougainvillea glabra* para aplicação como corante natural em alimentos.** 2022. 124P. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Seropédica, RJ, Brasil, 2023.

A aparência dos produtos alimentícios é a primeira avaliação e é decisiva para a decisão de compra do consumidor. Nos dias de hoje aumentou-se a procura e a preferência dos consumidores por produtos formulados com ingredientes e aditivos naturais, e que atendam a uma tendência observada no mercado mundial de alimentos, denominada *clean label*. O Brasil possui uma diversidade de plantas que podem ser utilizadas como fontes alternativas de corantes naturais de diferentes tonalidades, dentre as quais se destacam as plantas alimentícias não convencionais (PANC). A *Bougainvillea glabra* é uma PANC, popularmente conhecida no Brasil como buganvília ou primavera, possui coloração rósea em suas brácteas conferida pelas betalaínas. Reconhecendo a demanda pela substituição de corantes sintéticos por corantes naturais, o objetivo do presente trabalho foi realizar a modelagem matemática de cinética de secagem, convencional e em espuma, do pó obtido das brácteas da *B. glabra* e caracterizá-lo quanto à sua capacidade antioxidante e teor de compostos fenólicos e de betalaínas e avaliar a toxicidade do pó *in natura* das brácteas de *B. glabra*, para uso como corante alimentar natural. Como resultado, o modelo matemático que obteve o melhor ajuste na secagem das brácteas foi o modelo Midilli a 50°C. O pó rosa, obtido das brácteas de *B. glabra*, apresenta potencial antioxidante, teor de betalaínas e compostos fenólicos, e não foi tóxico, o que justifica e comprova seu uso como corante natural em produtos alimentícios.

Palavras-chave: corante natural, modelagem matemática, betalaínas, antioxidante.

ABSTRACT

ANTUNES, Larissa Almeida. **Drying kinetics, physicochemical characterization and toxicity of pink powder obtained from Bougainvillea glabra bracts for application as a natural cut in food.** 2022. 124P. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Postgraduate Program in Food Science and Technology, Seropédica, RJ, Brazil, 2023.

The appearance of food products is the first assessment and is decisive for the consumer's purchase decision. Currently, the demand and preference of consumers for products formulated with natural ingredients and additives, and that meet a trend observed in the world food market, called clean label, has intensified. Brazil has a diversity of plants that can be used as alternative sources of natural dyes of different shades, among which unconventional food plants (PANC) stand out. Bougainvillea glabra is a PANC, popularly known in Brazil as bougainvillea or spring, it has a rosy color in its bracts conferred by betalains. Recognizing the demand for replacing synthetic dyes with natural dyes, the objective of the present work was to perform a mathematical modeling of drying kinetics, conventional and foam, of the powder obtained from the bracts of B. glabra and to characterize it in terms of its antioxidant capacity. and content of phenolic compounds and betalains and to evaluate the toxicity of the powder in natura from the bracts of B. glabra, for use as a natural food coloring. As a result, the mathematical model that obtained the best fit in bract drying was the Midilli model at 50°C. The pink powder obtained from the bracts of B. glabra, which showed antioxidant potential, content of betalains and phenolic compounds, and was not toxic, which justifies and proves its use as a natural dye in food products.

Keywords: natural dye, mathematical modeling, betalains, antioxidant.

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Classificação taxonômica da <i>Bougainvillea. glabra</i>	31
---	----

Capítulo II

Tabela 1: Modelos matemáticos de cinética de secagem utilizados em alimentos.....	49
Tabela 2 - Valores de umidade em base seca (Ubs) e razão de umidade (RU), em função do tempo (t), para cada temperatura (T) de secagem (40, 50 e 50 °C).....	54
Tabela 3: Parâmetros dos modelos ajustados.....	56
Tabela 4: Modelos de Fick (não ajustado) em comparação com modelo Midilli (ajustado).....	59
Tabela 5: Parâmetros do modelo de Midilli, para diferentes temperaturas de secagem das brácteas.....	60
Tabela 6: valores de Def, 1/T (K) e LnDef durante a secagem das brácteas de <i>B. glabra</i> em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C).....	60

Capítulo III

Tabela 1: Toxicidade do pó in natura das brácteas de <i>B. glabra</i> frente a <i>A. salina</i>	60
Tabela 2: Código dos extratos obtidos.....	60
Tabela 3: Resultados de compostos fenólicos nos extratos de <i>B. glabra</i> (secagem convencional e espuma).....	60
Tabela 4: Resultados de capacidade antioxidante pelo método FRAP nos extratos de <i>B. glabra</i> (secagem convencional e espuma).....	60
Tabela 5: Resultados de capacidade antioxidante, pelo método DPPH, nos extratos de <i>B. glabra</i> (secagem convencional e espuma).....	60
Tabela 6: Teor de betalaínas em pó de brácteas de BG obtidos por secagem convencional e espuma.....	60
Tabela 7: Resultados dos parâmetros na análise de cor.....	60
Tabela 9: Valor de kobs e tempo de meia-vida (t1/2) para a decomposição de betalaína em meio aquoso, a 50 °C, foi determinado em pH 3, 5 e 7.	

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1: Arbusto de <i>B.glabra</i>	28
Figura 2: Brácteas e flores de <i>B. glabra</i>	29
Figura 3: Estrutura química geral da betalaína. A: porção de ácido betalâmico presente em todas as moléculas - B: estrutura variável representativa da betaxantina ou betacianina, dependendo dos resíduos de R1 e R2.....	30
Figura 4: Estrutura química da tirosina.....	31
Figura 5: Estruturas químicas da betaxantina e betacianina.....	31

Capítulo II

Figura 1: Valores experimentais e preditos pelo modelo de Midilli da razão de umidade (RU) em função do tempo de secagem, para as 3 temperaturas (40, 50 e 60 °C).....	62
Figura 2: Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo, em função da temperatura do ar, durante a secagem das brácteas de <i>B. glabra</i>	63
Figura 3: Pó rosa das brácteas de <i>B.glabra</i> obtido por secagem convencional a 40 °C.....	64
Figura 4: Pó rosa das brácteas de <i>B.glabra</i> obtido por secagem convencional a 50 °C.....	64
Figura 5: Pó rosa das brácteas de <i>B.glabra</i> obtido por secagem convencional a 60 °C.....	64
Figura 6: Pó rosa das brácteas de <i>B.glabra</i> obtido por secagem em espuma a 50 °C.....	65
Figura 7: Resultado da espuma rosa pré secagem a 50 °C.....	65
Figura 8: Resultado da espuma rosa após secagem a 50 °C, sem moagem e peneiramento.....	65

Capítulo III

Figura 1: Brácteas e flores da <i>B. glabra</i>	75
Figura 2: Brácteas da <i>B. glabra</i> selecionadas e separadas.....	75
Figura 3: Brácteas da <i>B.glabra</i> higienizadas.....	76
Figura 4: Ciclo de vida da <i>Artemia salina</i> L. (<i>Artemiidae</i>).....	77
Figura 5: Ensaio com os cistos de <i>Artemia salina</i> L. (<i>Artemiidae</i>) (solução salina 3% p/v de cloreto de sódio em água mineral), em becker de 1000L.).....	78
Figura 6: <i>Artemia salina</i> L. (<i>Artemiidae</i>) na fase náuplio instar II e cisto em eclosão..	78

Figura 7: <i>Artemia salina</i> L. (<i>Artemiidae</i>) na fase náuplio instar II.....	78
Figura 8: <i>Artemia salina</i> L. (<i>Artemiidae</i>) na fase náuplio instar III.....	78
Figura 9: <i>Artemia salina</i> L. (<i>Artemiidae</i>) na fase adulta com cistos interno.....	78
Figura 10: Massa úmida das brácteas em cadinhos de alumínio.....	79
Figura 11: Extrato das brácteas em Erlenmeyer de 250 mL.....	79
Figura 12: Erlenmeyer no shaker por 6h em agitação à 22,5 °C.	79
Figura 13: Esquema representativo do espectro de cores em 360° com os parâmetros colorimétricos.....	83

SUMÁRIO

ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	14
RESUMO GERAL.....	15
GENERAL ABSTRACT.....	16
INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA GERAL.....	17
CAPÍTULO I UTILIZAÇÃO DO PÓ ROSA OBTIDO DAS BRÁCTEAS DE BOUGAINVILLEA GLABRA COMO CORANTE NATURAL EM ALIMENTOS.....	21
RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23
1.INTRODUÇÃO.....	24
2. OBJETIVOS.....	25
2.1. Objetivo geral.....	25
2.2. Objetivos específicos.....	25
3.METODOLOGIA.....	25
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	26
4.1 Corantes alimentícios.....	26
4.2 Potencial das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) como fonte de corante natural em alimentos.....	27
4.3 <i>Bougainvillea glabra</i>	28
4.4 Betalaínas.....	32
4.4.1 Fontes de betalaínas.....	35
4.4.2. Estabilidade de betalaínas.....	36
4.4.3. Aplicações de betalaínas em alimentos.....	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
CAPÍTULO II CINÉTICA DE SECAGEM DO PÓ OBTIDO DAS BRÁCTEAS DA BOUGAINVILLEA GLABRA.....	52
RESUMO.....	53
ABSTRACT.....	54

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	102
3.1 Determinação da toxicidade das brácteas de <i>B. glabra</i> in natura (Artemia Reference Center ARC-test).....	102
3.2 Análises físico-químicas dos extratos.....	104
3.3 Análise de Cor.....	112
3.4 Análise de betalaína.....	112
3.5 Cinética de degradação em diferentes temperaturas.....	113
3.6 Cinética de degradação em diferentes valores de pH.....	116
4. CONCLUSÃO.....	117
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo I é apresentada a revisão bibliográfica sobre a planta alimentícia não convencional (PANC), *Bougainvillea glabra*, relatando suas propriedades tecnológicas, funcionais e medicinais, além da aplicação das brácteas como corante natural em alimentos.

No Capítulo II é apresentado o artigo científico submetido à revista científica brasileira “Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental” onde são exibidos os resultados do estudo acerca da modelagem matemática de cinética de secagem das brácteas da *Bougainvillea glabra*.

No Capítulo III é apresentado o artigo científico referente à toxicidade e qualidade do pó rosa, quanto à capacidade antioxidante, teores de compostos fenólicos, betalaínas, cinética de degradação em diferentes condições de pH e temperatura, solubilidade em diferentes temperaturas e os índices de absorção em água e óleo.

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA GERAL

A cor é considerada o aspecto mais importante na aceitação dos consumidores em relação à escolha de alimentos, sendo a principal característica que influencia a aparência e qualidade dos produtos alimentícios. A visão é um dos sentidos que exerce forte influência na aceitação ou rejeição de um produto (MESQUITA *et al.*, 2017), e por esse motivo, nas indústrias de alimentos, são utilizados corantes artificiais e/ou naturais para atrair o consumidor e influenciar na decisão de compra (AGÓCS & DELI, 2011). Os corantes são utilizados há muito tempo pelos humanos, desde o início da civilização, onde eram extraídos de plantas, flores e frutos para colorir alimentos e tingir tecidos. Sua finalidade é manter, estabilizar ou restaurar a coloração de um alimento (ANASTÁCIO *et al.*, 2016).

O cenário mundial dos consumidores está ligado à procura por alimentos mais saborosos, apelativos, que requerem produtos mais seguros, nutritivos e saudáveis (MARTINS *et al.*, 2016). Desta maneira, os corantes naturais estão cada vez mais populares, devido a sua segurança, propriedade funcional e pelo seu potencial efeito benéfico na saúde humana (SANTOS *et al.*, 2022).

Reconhecendo a demanda pela substituição de corantes sintéticos por naturais, atualmente a indústria de alimentos à base de plantas está se expandindo através do desenvolvimento de produtos inovadores utilizando flores comestíveis (GOSTIN & WAISUNDARA, 2019). O Brasil é o país com a maior biodiversidade do mundo, onde muitas espécies vegetais são amplamente utilizadas como ingredientes na culinária e consumidas diariamente pela população. Desta forma, espécies vegetais desconhecidas pela maioria da população, como as plantas alimentícias não convencionais (PANC) tem apresentado importância tecnológica, funcional e nutricional e com um enorme potencial

de utilização como ingrediente na elaboração de produtos alimentícios (KINUPP, 2007; KINUPP & BARROS, 2008).

Deste modo, relevantes pesquisas tecnológicas são destinadas para desenvolver corantes alimentícios a partir de fontes naturais, visando diminuir ou eliminar gradativamente a dependência do uso de corantes artificiais (RANA *et al.*, 2020). Com relação às flores e folhas sub exploradas, com potencial uso como corante natural, destaca-se a *Bougainvillea* (Nyctaginaceae), subtribo *Bougainvilleinae* e família *Nyctaginaceae*, classificada como uma PANC, sendo um arbusto sul-americano de crescimento vigoroso e fortemente escalado, amplamente cultivado na Índia e no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A *Bougainvillea* é encontrada em diversos estados brasileiros, inclusive no Rio de Janeiro (RAHIMI *et al.*, 2018). É conhecida popularmente como buganville, primavera ou três-marias e é chamada de flor de papel, devido às suas brácteas serem bastante finas (VICENT *et al.*, 2017). A espécie *Bougainvillea glabra*, além de possuir propriedades funcionais, destaca-se por sua utilização como corante natural rosa, com potencial para aplicação em diversos produtos alimentícios (CALVA-ESTRADA *et al.*, 2022). As brácteas de coloração rosa são marcadas pela presença do pigmento natural denominado betalaína e, além disso, também são encontrados compostos fenólicos, tais como flavonoides (MARKANDAN *et al.*, 2016).

Betalaínas são pigmentos naturais de origem vegetal altamente hidrossolúveis, atóxicos, derivados de algumas plantas e fungos e que, atualmente, vem ganhando popularidade para utilização como corante natural na indústria de alimentos. Além de ser uma potencial fonte para colorir alimentos, as betalaínas apresentam propriedades benéficas à saúde associadas ao seu consumo, como a ação antioxidante, o que tem atraído

o interesse de pesquisas científicas, indústrias e também um forte interesse dos consumidores (MARTINS *et al.*, 2016).

Atualmente o número de corantes sintéticos permitidos nos países desenvolvidos vem diminuindo a cada ano, pois eles têm causado graves problemas ao meio ambiente e aos seres humanos, uma vez que estes são associados a toxicidade e efeitos carcinogênicos (MARTINS *et al.*, 2016). Conforme o Ministério da Saúde (2006), tem-se observado aumento na demanda e oferta de produtos mais naturais e frescos, intensificado pela preferência dos consumidores por produtos formulados com ingredientes e aditivos naturais, tendência observada no mercado mundial de alimentos, chamada '*clean label*'. Em consequência disto há um forte incentivo para o emprego de corantes naturais em alimentos, devido à conscientização dos consumidores pelos problemas associados à ingestão de corantes sintéticos (RODRIGUEZ-AMAYA, 2019).

A justificativa para realização deste trabalho deve-se a demanda global pela substituição de corantes sintéticos por naturais, para avaliar o potencial tecnológico, com testes físico-químicos, estudo toxicológico e realizar a modelagem matemática da cinética de secagem, para obtenção do pó rosa proveniente das brácteas da *Bougainvillea glabra*.

CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DO PÓ ROSA OBTIDO DAS BRÁCTEAS DE BOUGAINVILLEA GLABRA COMO CORANTE NATURAL EM ALIMENTOS

RESUMO

Caracterizada como uma planta alimentícia não convencional, a *Bougainvillea*, ou primavera, como é popularmente conhecida no Brasil, é um arbusto espalhado em trepadeiras, ou pequenas árvores, com amplo cultivo e produção mundial. As diferentes espécies possuem brácteas com diversas tonalidades de cor, como rosa, magenta, roxo, azul, amarela, laranja, vermelho e branca. As brácteas da *Bougainvillea glabra* apresentam em sua composição as betalaínas, um corante natural conferindo tonalidades de rosa a roxo com propriedades antioxidantes e presença de compostos fenólicos. Na medicina tradicional esta espécie tem sido utilizada para inúmeros fins medicinais, com efeitos neuroprotetores, anti-inflamatórios, antidiarreico, anti úlcera, anti microbiana e como agente anti-hiperglicêmico. Seu uso pode tornar-se bastante vantajoso para a indústria de corantes, visto que a maioria dos corantes sintéticos causam diferentes tipos de alergias. Essa revisão tem como objetivo avaliar o potencial de utilização do pó rosa obtido nas brácteas da *Bougainvillea glabra* como corante natural em alimentos, atrelados a seus efeitos nas propriedades tecnológicas e funcionais.

Palavras-chave: betalaínas, aplicação em alimentos, corante natural, PANC, brácteas.

ABSTRACT

Characterized as an unconventional food plant, Bougainvillea, or Primavera, as it is popularly known in Brazil, is a bush spread on vines, or small trees, with wide cultivation and worldwide production. The different species have bracts with different shades of color, such as pink, magenta, purple, blue, yellow, orange, red and white. The bracts of Bougainvillea glabra have betalains in their composition, a natural dye giving shades from pink to purple with antioxidant properties and the presence of phenolic compounds. In traditional medicine this species has been used for numerous medicinal purposes, with neuroprotective, anti-inflammatory, anti-diarrheal, anti-ulcer, anti-microbial effects and as an anti-hyperglycemic agent. Its use can become very advantageous for the dye industry, since most synthetic dyes cause different types of allergies. This review aims to evaluate the potential use of the pink powder obtained from the bracts of Bougainvillea glabra as a natural dye in food, linked to its effects on technological and functional properties.

Keywords: betalains, food application, natural dye, PANC, bracts.

1. INTRODUÇÃO

A conscientização dos consumidores sobre a importância de uma alimentação mais saudável e o interesse pelos aspectos funcionais, nutricionais e de segurança alimentar vêm resultando no aumento do consumo de pigmentos naturais (MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2022). Alimentos sem aditivos são muito procurados por consumidores que optam pela alimentação mais saudável. Na ausência deste tipo de produto, eles escolhem os que contêm aditivos naturais (ALONSO-CASTRO *et al.*, 2017). Os pigmentos naturais mais comuns encontrados em vegetais e frutas são as betalaínas (vermelho-amarelo), clorofilas (verdes), antocianinas (vermelho-púrpura) e carotenóides (amarelo-laranja). Além de suas propriedades de coloração, esses pigmentos vegetais exibem potenciais funções de promoção da saúde (GHOSH *et al.*, 2022).

Pigmentos naturais podem ser obtidos a partir de folhas, flores, brácteas e cascas de frutas, dentre eles, as betalaínas, encontradas nas brácteas da *Bougainvillea glabra*, uma planta alimentícia não convencional com potencial de ser utilizadas em alimentos. As betalaínas têm atraído o interesse dos pesquisadores e consumidores devido aos efeitos de capacidade antioxidante, antiproliferativo em células carcinogênicas, cardioprotetor, anti-inflamatório e antimicrobiano (MADADI *et al.*, 2020; VIDAL *et al.*, 2016). Além das betalaínas, nas brácteas da *B. glabra* também são encontrados compostos fenólicos, tais como flavonoides e ácidos hidroxicinâmicos (MARKANDAN *et al.*, 2016; KAISOON & SIRIAMORNPUN, 2012).

No entanto, a maioria dos pigmentos naturais apresenta menor estabilidade quando comparados aos corantes sintéticos. Em presença de luz e oxigênio, os corantes naturais são degradados quando submetidos a temperaturas superiores à 40°C. Outro fator importante que afeta a estabilidade é a atividade de água, e, por este motivo, os corantes naturais têm maior estabilidade em alimentos com baixa umidade (SADOWSKA-

BARTOZ *et al.*, 2021). Desta maneira, a sua forma em pó tem sido utilizada em produtos alimentícios através do método de secagem (OROIAN *et al.*, 2015). Nesse sentido, de acordo com Rodriguez-Amaya (2019), a betalaína tem potencial para aplicação industrial como corante alimentar natural.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica acerca da *Bougainvillea glabra* e suas propriedades tecnológicas e funcionais e sua aplicação como corante natural alimentício.

2.2. Objetivos específicos

- Apresentar os principais benefícios funcionais presentes na *B. glabra*;
- Apresentar suas propriedades tecnológicas;
- Relatar as principais aplicações da betalaína como corante natural em alimentos.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho constituiu-se de uma revisão de literatura abordando a temática acerca das propriedades tecnológicas e funcionais da *Bougainvillea glabra* e sua aplicação sob corante natural em alimentos. Além de dissertar o uso das PANC como fontes alimentares e ainda, uma breve revisão sobre os benefícios na saúde humana com o uso da betalaína. Foram realizadas consultas nas bases de dados Scopus, Science Direct e Google Acadêmico, utilizando-se as seguintes palavras-chave: “*bougainvillea glabra*”, “natural coloring”, “betalains”, “functional foods”, “clean label” e “food industry”.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Corantes alimentícios

A cor dos alimentos é um dos aspectos essenciais, ressignificando seu frescor e segurança e estética no geral. Pigmentos derivados de fontes naturais tornaram-se um interesse de pesquisa e estão crescendo com grande aplicação na indústria de alimentos (WU *et al.*, 2022). Como pigmentos alimentares sintéticos têm propriedades indesejáveis, como alergias, os pigmentos naturais são usados em seu substituto (MARTINS *et al.*, 2016).

A descarga industrial contendo corantes não apenas causa danos estéticos aos corpos d'água, mas também impede a penetração da luz através da água causando redução na taxa de fotossíntese e nos níveis de oxigênio dissolvido afetando a biota aquática (POLTURAK & AHARONI, 2018; SIGURDSON *et al.*, 2017). Além disso, os corantes sintéticos entram na cadeia alimentar, sofrem biomagnificação e atuam como agentes mutagênicos e carcinogênicos (MARTINS *et al.*, 2016).

Devido a esses efeitos negativos, os consumidores estão evitando alimentos contendo corantes sintéticos e substituindo-os por corantes naturais (ESCUADERO-GILETE *et al.*, 2017; ANASTÁCIO *et al.*, 2016). A maioria dos corantes naturais para o processo de tingimento pode ser obtida de diferentes partes das plantas RODRIGUEZ-AMAYA, 2019). Os corantes derivados de fontes naturais podem ser usados em aplicações alimentícias onde a não toxicidade é um parâmetro chave. O processo de extração e produção não cria problemas ambientais porque os corantes naturais geralmente são extraídos e concentrados usando água ou álcoois inferiores para pigmentos solúveis em água (KUMAR *et al.*, 2017).

4.2 Potencial das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) como fonte de corante natural em alimentos

O Brasil é um país que apresenta uma grande diversidade de plantas comestíveis usadas como fontes alternativas de corantes naturais. Além das cultivares conhecidas e consumidas diariamente pela população, também são encontradas nos solos brasileiros as plantas alimentícias não convencionais (PANC). O conceito de PANC refere-se aquelas espécies cujas partes consumidas não são comuns ou convencionalmente usadas (KINUPP, 2007). Sendo potencial fonte de alimentos, compostos bioativos, novos princípios ativos de medicamentos e outras tantas moléculas utilizáveis, são citadas 46.097 espécies de plantas, fungos e algas e, destas, 47% são endêmicas do Brasil. Neste conceito incluem-se todas as espécies com tubérculos, caules, folhas, botões florais, flores, pólen e frutos potencialmente comestíveis, mas que não são reconhecidas como tal em determinadas regiões (KINUPP & BARROS, 2008; KINUPP, 2007).

São espécies com grande importância ecológica e econômica, por serem adaptadas a condições de solo e clima local, características importantes para o melhoramento genético. Ainda, sementes ou látex, resina e goma, são usadas para obtenção de óleos e gorduras comestíveis, além de incluir também as especiarias e as ervas aromáticas. Muitas destas espécies de PANC, embora ainda utilizadas por um grupo restrito da população, são espécies com grande potencial nutricional, tecnológico e funcional (BIONDO *et al.*, 2018; KINUPP & BARROS, 2008).

Em termos de importância nutricional, e portanto importantes para a alimentação, muitas das espécies de PANC, quando comparadas com suas espécies aparentadas, incluem muito mais nutrientes, vitaminas, antioxidantes, compostos fenólicos, carotenóides, quantidades consideráveis de minerais como potássio, magnésio, manganês, vitamina C e pró vitamina A, lipídeos, proteínas, fibras em altas quantidades,

o que é enfatizado por diferentes autores (BIONDO *et al.*, 2018; KINUPP, 2007; KINUPP & BARROS, 2008).

Estudos já apontam a importância nutricional dessas plantas quando comparadas com espécies aparentemente semelhantes e convencionais, incluindo a presença de uma grande variedade de nutrientes e de bioativos como, compostos fenólicos, carotenóides, antocianinas, dentre outros (KINUPP & BARROS, 2008; KINUPP, 2007).

Dentre as inúmeras PANC existentes no Brasil, destacam-se as brácteas da *Bougainvillea glabra* com grande potencial de ser usada como corante rosa para aplicação em produtos alimentícios.

4.3 *Bougainvillea glabra*

A *Bougainvillea glabra* é uma planta nativa do leste da América do Sul, encontrada em diversos estados brasileiros, inclusive no Rio de Janeiro, e é amplamente cultivada em todo o mundo (RAHIMI *et al.*, 2018). O nome *Bougainvillea* é derivado do viajante do mundo, Louis Antoine de Bougainville, que a descobriu no Brasil no século XVIII e a levou para a Europa, onde a espécie difundiu-se e tornou-se popular por sua versatilidade, riqueza e aptidão para desenvolver-se em condições ambientais de clima quente e seco, onde suas cores tornam-se mais brilhantes e atraentes (SALEEM *et al.*, 2021; MENDHEKAR *et al.*, 2018; MARAN *et al.*, 2015).

No Brasil, a *Bougainvillea* é conhecida popularmente como buganville, buganvília, primavera, pataguinha, pau-de-roseira, juá-francês, roseta, santa-rita, sempre-lustrosa ou três-marias e são chamadas também de flor de papel, devido às suas brácteas serem finas como papel (VICENT *et al.*, 2017). Pertencente à família *Nyctaginaceae*, a buganvília é um arbusto espalhado em trepadeiras, ou pequenas árvores, de 1 a 12 metros

de altura, crescendo por cima de outras plantas com espinhos em forma de gancho e caules com entrenós (Figura 1).



Figura 1: Arbusto de *B. glabra*

Fonte: a própria autora.

Na medicina tradicional, a *Bougainvillea* tem sido utilizada para inúmeros fins medicinais, com relatos de efeitos anti-inflamatórios (MARKANDAN *et al.*, 2016), antidiarreico, antiúlcera, antimicrobiana e como agente anti-hiperglicêmico (EDWIN *et al.*, 2007). Ainda, esta planta medicinal é recomendada para o tratamento de asma, bronquite e disenteria (ALONSO-CASTRO *et al.*, 2017), e suas folhas possuem fármacos antibacteriano, antifúngico e analgésico (EDWIN *et al.*, 2006). Além disso, as brácteas de *Bougainvillea* possuem antioxidantes naturais com efeitos neuroprotetores, como fitol, tocoferol, quercetina e ácidos fenólicos (RANI *et al.*, 2012). Esta planta também é utilizada para o tratamento de doenças comuns como diarreia, hipotensão, distúrbios intestinais, dor de estômago, náusea, doenças relacionadas à inflamação e no controle da dor (SALEEM *et al.*, 2021).

Aproximadamente 18 espécies (*B. berberidifolia*, *B. buttiana*, *B. campanulata*, *B. glabra*, *B. herzogiana*, *B. infesta*, *B. lehmanniana*, *B. lehmannii*, *B. malmeana*, *B. modesta*, *B. pachyphylla*, *B. peruviana*, *B. pomacea*, *B. praecox*, *B. spectabilis*, *B.*

spinosa, *B. stipitata* e *B. trollei*). Porém, apenas quatro espécies (*B. buttiana*, *B. glabra*, *B. spectabilis* e *B. peruviana*) são exploradas comercialmente (TRIPATHI *et al.*, 2017). Suas brácteas apresentam diferentes tons de cores naturais, sendo rosa, magenta, roxo, vermelho, laranja, branco, azul ou amarelo e florescem o ano todo (VARGAS-ABARCA & PETRICEVICH, 2018; TRIPATHI *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2017; MARAN *et al.*, 2015), e são fontes de compostos fenólicos, com alto potencial antioxidante, que apresentam efeitos benéficos na saúde humana, atuando como um agente antimicrobiano, antiinflamatório e anticarcinogênico (KOO *et al.*, 2006).

Suas folhas são ovadas simples com 4-13 cm de comprimento e sua flor é pequena e geralmente branca, apresentando-se com um conjunto de três flores que são cercadas por três ou seis (VARGAS-ABARCA & PETRICEVICH, 2018).

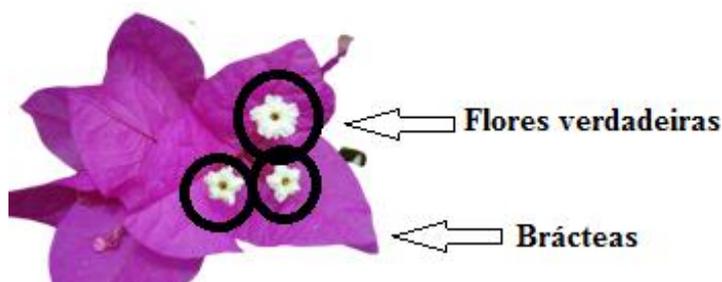


Figura 2: Brácteas e flores da *B. glabra*.

Fonte: a própria autora.

A Tabela 1 mostra sua classificação taxonômica.

Tabela 1. Classificação taxonômica da *Bougainvillea. glabra*.

Reino	Plantae
Divisão	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Família	<i>Nyctaginaceae</i>
Espécie	<i>Bougainvilleae</i>

Gênero	<i>Bougainvillea. COMM. EX Juss</i>
Ordem	<i>Caryophyllales</i>
Variedade	<i>glabra</i>

Estudos anteriores *in vitro e in vivo* relataram a capacidade antioxidante de várias espécies de plantas medicinais da família *Nyctaginaceae* (PETRICEVICH *et al.*, 2022; COMPAORE *et al.*, 2018), atuando em nível celular através da estimulação do crescimento celular e estabilizando o potencial de membrana ou em nível molecular através da eliminação de radicais livres (SALEEM *et al.*, 2020; KIM *et al.* 2018).

As plantas são fontes de compostos bioativos com ação antioxidante, como fenólicos, flavonóides e taninos, que atuam na captura e neutralização de espécies oxidantes, como ânions superóxidos, radicais hidroxila e peróxido de hidrogênio. Os antioxidantes endógenos são essenciais contra os radicais livres e os danos oxidativos. No caso de antioxidantes endógenos de plantas, alguns têm sido amplamente utilizados. Nas plantas, o ácido fenólico possui uma atividade biológica diferente (KIM *et al.*, 2018; ALVAREZ *et al.*, 2012). Tradicionalmente, flores secas de buganvílias são usadas para tratamentos tópicos de contusões e dores (ARTEAGA *et al.*, 2017).

Sendo fonte de betalaínas, a *Bougainvillea glabra* destaca-se por conter em sua estrutura este pigmento natural que pode ser utilizado como fonte de corante natural em alimentos (SHALINI *et al.*, 2018). O aumento da procura pelos de pigmentos naturais, tais como as betalaínas, vem crescendo a cada ano pela indústria alimentícia com a conscientização dos consumidores sobre a importância de uma alimentação saudável,

além do interesse pelos aspectos funcionais, nutricionais e de segurança alimentar (WANG & WELLER, 2006).

4.3.1 *Bougainvillea* e sua aplicação como corante natural em alimentos

De acordo com a literatura, existem alguns trabalhos científicos que estudaram a *Bougainvillea* como fonte de corante natural em alimentos.

Na pesquisa realizada por Kuhn (2021), a autora encapsulou as betalaínas e os compostos fenólicos das brácteas da *Bougainvillea glabra* para uso como corante natural em alimentos. O trabalho concluiu que a aplicação em alimentos do extrato de *B. glabra*, encapsulado por atomização e liofilização com inulina e povidona como encapsulantes, são alternativas eficientes para aumentar a estabilidade das betacianinas e fenólicos das brácteas da *B. glabra*.

O estudo realizado por Azevedo (2019) demonstrou que o encapsulamento do extrato das brácteas de *B. glabra*, pelo método de gelificação iônica, na formulação de balas de goma, empregando-se alginato e inulina como materiais de parede, mostrou-se eficiente no encapsulamento do extrato das brácteas de *B. glabra*.

4.4 Betalaínas

As betalaínas são pigmentos naturais presentes em cerca de 17 famílias de plantas pertencentes à ordem *Caryophyllales* (KHAN *et al.*, 2015). As betalaínas podem ser divididas em duas subclasses: betacianinas (vermelho-violeta) e betaxantinas (amarelo a laranja) (Figura 5). Curiosamente, antocianinas e betalaínas, que aparentemente têm funções semelhantes/idênticas, nunca foram encontradas juntas na mesma planta, então aparentemente são mutuamente exclusivas (GANDÍA-HERRERO *et al.*, 2016).

Betalaínas possuem uma característica estrutural uniforme que é derivada do ácido betalâmico, juntamente com um radical R1 ou R2, onde os substituintes podem ser um hidrogênio ou um radical. A variação nos grupos substituintes se origina de diversas origens de pigmentos e influencia sua estabilidade e matiz. De acordo com sua estrutura química (Figura 3), é relativamente simples extrair betalaínas, pois são hidrofílicas e acumulam-se nos vacúolos das células, principalmente nos tecidos epidérmicos e subepidérmicos das plantas que sintetizam esses pigmentos.

Possuem nitrogênio em sua estrutura química que são sintetizados a partir do aminoácido tirosina (Figura 4) em dois grupos estruturais: betaxantinas, de cores amarelo e laranja, e betacianinas, de cores violeta e vermelho. (Figura 5). As betacianinas são divididas em 4 grupos: betanina, gonfrerina, amarantina e boungavilia, com um total de 50 estruturas, já as betaxantinas possuem 20 estruturas (KUMAR *et al.*, 2017).

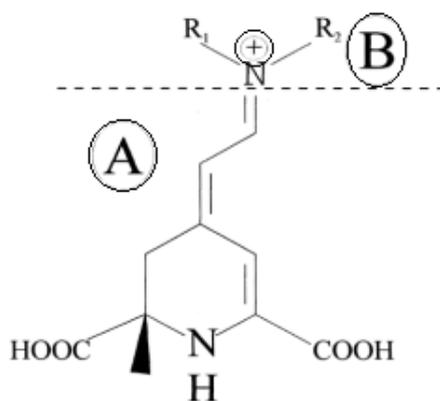


Figura 3: Estrutura química geral da betalaína. A: porção de ácido betalâmico presente em todas as moléculas - B: estrutura variável representativa da betaxantina ou betacianina, dependendo dos resíduos de R1 e R2. (Adaptado de DELGADO-VARGAS *et al.*, 2000).

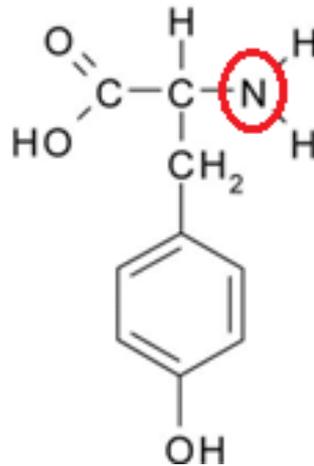


Figura 4: Estrutura química da tirosina

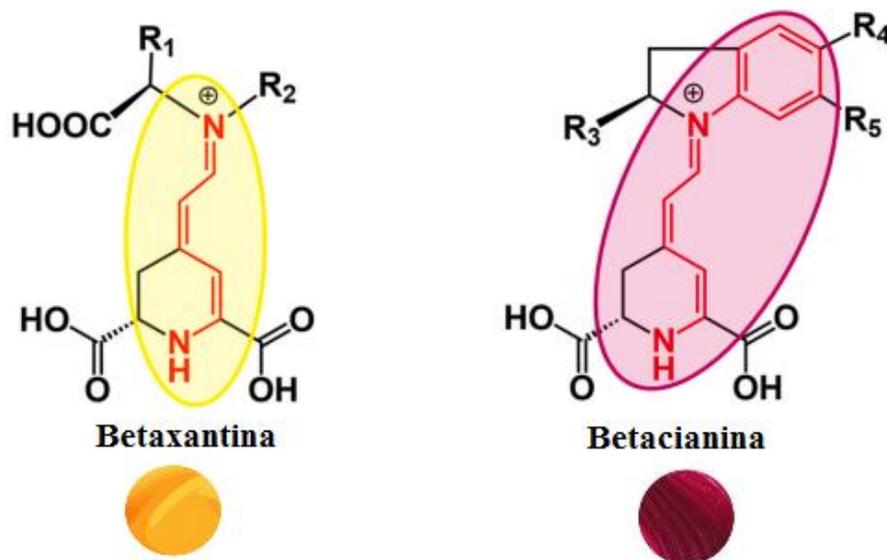


Figura 5: Estruturas químicas da betaxantina e betacianina.

4.4.1 Fontes de betalainas

As betalainas são produzidas em pétalas de flores, raízes, caules, folhas e frutos (MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2022) e conferem cor às flores de muitos gêneros de plantas, como *Mirabilis* (PIATTELLI *et al.*, 1965), *Glottiphyllum* (IMPELLIZZERI *et al.*, 1973) e *Portulaca* (GANDÍA-HERRERO *et al.*, 2005). A principal fonte de betalainas explorada comercialmente é a beterraba vermelha (*Betavulgaris*), que contém as

betacianinas betanina e isobetanina e uma fração menor de betaxantina (*vulgaxantina I*) (GENGATHARAN *et al.*, 2015; SLATNAR *et al.*, 2015).

A betanina extraída da beterraba vermelha tem seu uso como corante alimentício aprovado pela União Europeia (E162), FDA (Food and Drug Administration) nos Estados Unidos e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa; INS 162) no Brasil. É utilizada em balas e caramelos, iogurtes, sorvetes, molhos, massas alimentícias, coberturas prontas, misturas para bolos, misturas em pó para bebidas, refrigerantes, sobremesas a base de gelatina, entre outros produtos (DELGADO-VARGAS *et al.*, 2000). No entanto, o uso da beterraba apresenta algumas desvantagens, tais como uma gama de cores limitadas devido ao teor majoritário de betanina, alto teor de sais e nitrato, além de sabor e aroma terrosos devido à presença de geosminas e pirazinas (POLTURAK; AHARONI, 2018; MEREDDY *et al.*, 2017).

Exemplos de outras plantas pigmentadas por betalaínas incluem a primavera (*Bougainvillea spp.*), o amaranto (*Amaranthus spp.*), a pitaia (*Hylocereus spp.*), a pera espinhosa ou figo da Índia (*Opuntia spp.*) e a quinoa (*Chenopodium quinoa*) (ESCRIBANO *et al.*, 2017; GENGATHARAN *et al.*, 2015).

As betalaínas têm sido atribuídas as propriedades de caráter antioxidante, antiproliferativo, cardioprotetor, antimicrobiano (HADIPOUR *et al.*, 2020; GAUTAM *et al.*, 2016), anticancerígeno, hipolipemiante, antidiabético, hepatoprotetor, o que a torna uma provável molécula no tratamento de doenças com aspectos patológicos de estresse oxidativo (SLANTAR *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2015) anti-inflamatório e antimicrobiano (GUERRERO-RUBIO *et al.*, 2020; MADADI *et al.*, 2020).

Existe ainda a produção de betalaínas individuais por microrganismos geneticamente modificados (*Escherichia coli* e *Saccharomyces cerevisiae*) (HOU *et al.*, 2020; GREWAL *et al.*, 2018) e plantas superiores, como batata (*Solanum tuberosum L.*),

tomate (*Solanum lycopersicum L.*), berinjela (*Solanum melongena L.*) petúnias (*Petunia x hybrida*) (POLTURAK *et al.*, 2017).

4.4.2. Estabilidade de betalaínas

Além de ser um corante natural não tóxico, tem boa absorção biológica, e nesse sentido, de acordo com o estudo feito por Rodriguez-Amaya (2019) tem-se afirmado que a betalaína tem grande potencial para aplicação industrial como corante alimentar natural. No entanto, assim como a maioria dos pigmentos naturais, as betalaínas apresentam menor estabilidade quando comparadas aos corantes sintéticos e sua estabilidade é dependente do pH, onde as betacianinas são mais estáveis em pH ácido, enquanto que as betaxantinas são mais estáveis em pH neutro (SANTOS *et al.*, 2018).

A temperatura serve como um dos fatores cruciais para a estabilidade das betalaínas durante o processamento e armazenamento de alimentos. As betalaínas são sensíveis ao calor e suscetíveis à degradação quando a temperatura está acima de 50 °C, o que é uma desvantagem severa para sua aplicação como corante alimentar. Se uma solução de betalaína for aquecida a 100 °C, a cor vermelha desaparece gradualmente e se transforma em marrom-amarelado (FU *et al.*, 2020). Um estudo anterior demonstrou que a degradação de betacianinas pode ocorrer sob altas temperaturas, formando produtos amarelos, incluindo neobetacianinas, ácido betalâmico e betaxantinas adicionalmente, pode ocorrer descarboxilação e eliminação do glicosídeo (HERBACH *et al.*, 2006).

As betalaínas apresentam estabilidade em uma ampla faixa de pH, entre 3 a 7, podendo ser utilizadas em diversos produtos alimentícios, principalmente os de baixa acidez como sorvetes e iogurtes, já que esses pigmentos são menos susceptíveis, que as antocianinas, à clivagem hidrolítica (HERBACH *et al.*, 2006). Além disso, as betalaínas também são usadas como aditivo natural em cosméticos e medicamentos

(RAVICHANDRAN *et al.*, 2013). No entanto, este pigmento natural é instável na presença de luz e oxigênio, sendo destruído quando submetido a altas temperaturas (GÜNESER, 2016).

Outro fator importante que afeta significativamente a estabilidade das betalaínas é a atividade de água, e, por este motivo, elas têm maior estabilidade em alimentos com baixa umidade e atividade de água (SADOWSKA-BARTOS *et al.*, 2021). A menor atividade da água pode melhorar a estabilidade da betalaína, e a atividade da água abaixo de 0,63 foi considerada a mais eficaz (KEARSLEY & KATSABOXAKIS, 1980), portanto, a baixa atividade de água deve ser garantida para manter a bioatividade e a estabilidade da betalaína. Desta maneira, a sua forma em pó, ou extrato de betanina, tem sido utilizado na indústria alimentícia como corante natural em gelados comestíveis, massas e bebidas (OROIAN *et al.*, 2015).

A degradação da betalaína pode ser provocada ainda pela luz e suscetível à absorção de luz entre os espectros ultravioleta e visível, o que poderia promover uma transição de um estado excitado por elétrons para um estado mais ativo do cromóforo da betalaína (ESQUIVEL, 2006). Estudos mostram que a resistência à radiação da betalaína pode ser medida expondo a solução de betalaína na solução tampão a uma determinada fonte de luz, que pode aumentar a taxa de degradação da betalaína. Além disso, a degradação da betalaína provocada pela luz é dependente do oxigênio, uma vez que os impactos da exposição à luz são insignificantes em condições anaeróbicas (HUANG & VON ELBE, 1986).

Alguns cátions metálicos, como Sn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Al^{3+} e Cr^{3+} , também exercem certos impactos adversos na estabilidade ao acelerar a degradação da betalaína (ATTOE & VON ELBE, 1984). Os antioxidantes podem aumentar a estabilidade das

betalaínas, como por exemplo, o ácido ascórbico contribuiu para o aumento da estabilidade das betalaínas (AZEREDO, 2009).

Além disso, o armazenamento de soluções de betalaína sob baixos níveis de oxigênio pode levar à degradação menor do pigmento do que sob uma atmosfera de ar (HUANG & VON ELBE, 1987; VON ELBE *et al.*, 1974). Logo, a estabilidade de betalaínas pode ser melhorada sob uma atmosfera de nitrogênio, que exclui o oxigênio (HERBACH, 2006).

4.4.3. Aplicações de betalaínas em alimentos

As betalaínas possuem diversas aplicações como corante natural em alimentos. O mercado atual aposta em diversas aplicações em produtos alimentícios, com seu uso em diversas matrizes, como em iogurtes (DABIJA *et al.*, 2019), sorvete (OZTURK *et al.*, 2014), assados (KOHAJDOVA *et al.*, 2018), biscoitos (AMNAH, 2013), geleia (CHAUDHARI & NIKAM, 2015), doces (KUMAR *et al.*, 2018), salsichas de frango (VARELTZIS & BUCK, 1984), massa (REKHA *et al.*, 2013), macarrão (CHHIKARA *et al.*, 2019), carne (XIAO *et al.*, 2019), bebidas (PANGHAL *et al.*, 2017), peixe (YAVUZER *et al.*, 2020) e balas de goma veganas (KUMAR *et al.*, 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consumidores de todo o mundo estão cada vez mais em busca de produtos alimentícios saudáveis. A exigência deste público está ligada ao consumo de ingredientes mais naturais, sem a presença dos sintéticos e que, além de satisfazer as necessidades tecnológicas e funcionais, auxiliam no bom funcionamento do organismo.

O Brasil é um país com uma grande quantidade e variedade de matrizes vegetais, com potencial para serem utilizadas como corantes naturais em alimentos. A substituição dos corantes sintéticos pelos naturais já é uma realidade observada nas indústrias alimentícias, no entanto, é necessário que sejam realizadas pesquisas para que os métodos de extração destes corantes naturais sejam capazes de manter suas propriedades funcionais e tecnológicas.

A *Bougainvillea glabra* é uma planta largamente cultivada no Brasil. Contém em suas brácteas a betalaína, um corante natural com grande potencial de aplicação em alimentos. Desta maneira, é necessário que técnicas de extração sejam exploradas para que a estabilidade deste pigmento natural mantenha-se nos produtos alimentícios sob diversas condições de processamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÓCS, A. & DELI, J. Pigments in your food. **Journal of Food Composition and Analysis**, 24, 757, 2011. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.07.001>>. Accessed: Jun, 20, 2021. doi: 10.1016/j.jfca.2011.07.001.

ALVAREZ, P. G. et al. Anti-Inflammatory and Antinociceptive Activities of the Ethanolic Extract of *Bougainvillea × buttiana*. **Journal Ethnopharmacology**, v.144, p.712–719, 2012. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.10.018>>. Accessed: Mai, 30, 2022. doi: 10.1016/j.jep.2012.10.018.

ALONSO-CASTRO. A. J et al. “Use of medicinal plants by health professionals in Mexico,” **Journal of Ethnopharmacology**, vol. 198, pp. 81–86, 2017. Available from: <<http://doi.org/10.1016/j.jep.2017.12.038>>. Accessed: Mar, 3, 2021. doi: 10.1016/j.jep.2017.12.038.

AMNAH, M. A. Nutritional, sensory and biological study of biscuits fortified with red beetroots. **Life Science Journal**, v.10, p.1579–1584, 2013. Available from: <<http://doi.org/1097-8135>>. Accessed: Jul, 30, 2021. doi: 1097-8135.

ANASTÁCIO, L. de B. et al. Corantes Alimentícios Amarantho, Eritrosina B e Tartrazina, e seus possíveis Efeitos Maléficos à Saúde Humana. **Journal of Applied Pharmaceutical Sciences**, v.2(3), p.16-30, 2016. Available from: <<http://hdl.handle.net/1843/39736>>. Accessed: Mai. 27, 2021. doi: 10.1590/S0044-59672011000300015.

ARTEAGA, F. L. Comparison between Peritoneal Macrophage Activation by *Bougainvillea × buttiana* Extract and LPS and/or Interleukins. **Biomedicine Research International**. p.460-2952, 2017. Available from: <<https://doi.org/10.1155/2017/4602952>>. Accessed: Abr, 13, 2022. doi: 10.1155/2017/4602952.

ATTOE, D. & VON ELBE, J. H. Oxygen involvement in betanin degradation-oxygen uptake and influence of metal ions. **Z. Lebensm.- Unters. Forsch**, v.179, p.232–236, 1984.

AZEREDO, H. M. C. Betalains: Properties, source, applications and stability-A review. **International Journal of Food Science & Technology**, v.44, p.2365–2376, 2009. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>>. Accessed: Abr, 29, 2022. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x.

BIONDO, E. et al. Potencial de utilização de plantas alimentícias não-convencionais ocorrentes no Vale do Taquari, RS. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 4, n.1, p. 61-90, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.21674/2448-0479.41.61-90>>. Accessed: Abr, 23, 2022. doi: 10.21674/2448-0479.41.61-90.

CALVA-ESTRADA. S. J. et al. Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. **Food Chemistry: Molecular Sciences**. v.4, p.10-89, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>>. Accessed: Fev, 8, 2021. doi: 10.1016/j.fochms.2022.100089.

CHAUDHARI, S. N. & NIKAM, M. P. Development and sensory analysis of beetroot jelly. **International Journal of Science and Research**, v.4, p.827–830, 2015.

CHIKARA, N. et al. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. **Food Chemistry**, v.272, p.192–200, 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>>. Accessed: Mai, 18, 2022. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.022.

COMPAORE, M. et al. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Fractions from *Bidens engleri* O.E. Schulz (*Asteraceae*) and *Boerhavia erecta* L. (*Nyctaginaceae*). **Medicines**, v.5, p.53, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.3390/medicines5020053>>. Accessed: Mai, 18, 2022. doi: 10.3390/medicines5020053.

DABIJA, A. et al. Studies regarding the production of a novel yogurt using some local plant raw materials. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.43, p.13-826, 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1111/jfpp.13826>>. Accessed: Jun, 16, 2022. doi: 10.1111/jfpp.13826.

DELGADO-VARGAS F. et al. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.40, p.173-289, 2000. Available from: <<https://doi.org/10.1080/10408690091189257>>. Accessed: Jul, 21, 2021. doi: 10.1080/10408690091189257.

EDWIN, E. et al. Efecto antimicrobiano, antiulceroso y antidiarreico de las hojas de buganvilla (*Bougainvillea glabra Choisy*), **Ars pharmaceutica**. v.48 (2), p.135–144, 2007. Available from: <<http://hdl.handle.net/10481/27961>>. Accessed: Ago, 22, 2022. doi: 10481/27961.

EDWIN, E. et al. Antihyperglycemic activity of *Bougainvillea glabra Choisy*, **Planta Indica**, v.2 (3), p.25–26, 2006.

ESCRIBANO, J. et al. Characterization of betalains, saponins and antioxidant power indifferently colored quinoa (*Chenopodium quinoa*) varieties. **Food Chemistry**, v.234, p.285–294, 2017. Available from:

<<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.187>>. Accessed: Set, 12, 2021. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.187.

ESQUIVEL P. “Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus sp.*) Genotypes”. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v.62, n.9-10, p. 636-644, 2007. Available from: <<https://doi.org/10.1515/znc-2007-9-1003>>. Accessed: Out, 23, 2021. doi: 10.1515/znc-2007-9-1003.

ESQUIVEL P. Betalains. In Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages. **Woodhead Publishing**, p.81–99, 2006.

ESCUADERO-GILETE, M. L. & ROMERO, I. M. V. Colorantes alimentarios. **Aditivos alimentarios. Madri: Dextra Editorial**. p. 108-142, 2017.

FU, X. Y. et al. Metabolic engineering of rice endosperm for betanin biosynthesis. **New Phytologist**, v.225, p.1915–1922, 2020. Available from: <<https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04241?ref=pdf>>. Accessed: Nov, 06, 2021. doi: 10.1021/acs.jafc.0c04241?ref=pdf.

GANDÍA-HERRERO, F. et al. Biological Activities of Plant Pigments Betalains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.56, p.937–945, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1080/10408398.2012.740103>>. Accessed: Jun, 22, 2022. doi: 10.1080/10408398.2012.740103.

GANDÍA-HERRERO, F. et al. Betaxanthins as pigments responsible for visible fluorescence in flowers. **Planta**, v.222, p.586–593, 2005. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s00425-005-0004-3>>. Accessed: Jul, 02, 2022. doi: 10.1007/s00425-005-0004-3.

GAUTAM, S. et al. Fruits and vegetables as dietary sources of Antimutagens. **Journal Food Chemichal. Nanotechnology**. v.2, p. 97–114, 2016. Available from: <<http://doi.org/10.17756/jfcn.2016-018>> Accessed: Apr, 3, 2021. doi: 10.17756/jfcn.2016-018.

GENGATHARAN, A. et al. Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. **LWT - Food Science and Technology**, p.0023-6438,

2015. Available from: <<http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>>. Accessed: Nov, 30, 2021. doi: 10.1016/j.lwt.2015.06.052.

GHOSH et al. Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. **LWT - Food Science and Technology**. v.153, p.112-527, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.11252>>. Accessed: Set, 3, 2022. doi: 10.1016/j.lwt.2021.11252.

GREWAL, P. S. et al. Bioproduction of a betalain color palette in *Saccharomyces cerevisiae*. **Metabolic Engineering**, v.45, p.180–188, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.ymben.2017.12.008>>. Accessed: Jun, 23, 2022. doi: 10.1016/j.ymben.2017.12.008.

GUERRERO-RUBIO, M. A. et al. Light Emission in Betalains: From Fluorescent Flowers to Biotechnological Applications. **Trends in Plant Science**, February. v.25, n.2, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.11.001>>. Accessed: Set, 14, 2021. doi: 10.1016/j.tplants.2019.11.001.

GÜNESER: Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. **Food Chemical**, v.196, p.220–227, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.033>>. Accessed: Dez, 11, 2021. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.033.

GOSTIN, A. I. & Waisundara, V. Y. Edible flowers as functional food: A review on artichoke (*Cynara cardunculus L.*). **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p.381-391, 2019.

HADIPOUR, E. et al. Biological effects of red beetroot and betalains: a review. **Phytother Reserch**. v.34, p;1847–1867, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1002/ptr.6653>>. Accessed: Nov, 21, 2021. doi: 10.1002/ptr.6653.

HERBACH, K. M. Betalain stability and degradation- structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, v.71, p41–R50, 2006. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x>>. Accessed: Nov, 13, 2021. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x.

HERBACH, K. M. et al. Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice

matrix and selected additives. **Food Research International**. v.39, p.667–677, 2006. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.004>>. Accessed: Dez, 03, 2021. doi: 10.1016/j.foodres.2006.01.004.

HOU, Y. et al. Metabolic Engineering of *Escherichia coli* for de Novo Production of Betaxanthins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.68, p.8370–8380, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02949>>. Accessed: Nov, 23, 2021. doi: 10.1021/acs.jafc.0c02949.

HUANG, A. S. & VON ELBE, J. H. Effect of pH on the degradation and regeneration of betanine. **Journal of Food Science**, v.52, p.1689–1693, 1987. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05907.x>>. Accessed: Jul, 25, 2022. doi: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb05907.x.

HUANG, A. S. & VON ELBE, J. H. Stability comparison of two betacyanine pigments-amaranthine and betanine. **Journal of Food Science**, v.51, p.670–674, 1986. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13908.x>>. Accessed: Jun, 17, 2021. doi: 10.1111/j.1365-2621.1986.tb13908.x.

IAHTISHAM et al. Nephroprotective effects of red beetroot-based beverages against gentamicin-induced renal stress. **Journal of Food Biochemistry**, v.43, p.12873, 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1111/jfbc.12873>>. Accessed: Jul, 27, 2022. doi: 10.1111/jfbc.12873.

IMPELLIZZERI, G. et al. A new betaxanthin from *Glottiphyllum longum*. **Phytochemistry**, v.12, p.2293–2294, 1973. Available from: <[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(73\)85137-4](https://doi.org/10.1016/0031-9422(73)85137-4)>. Accessed: Dez, 13, 2021. doi: 10.1016/0031-9422(73)85137-4.

KHAN, M. I. & Giridhar, P. Plant betalains: Chemistry and biochemistry. **Phytochemistry**, v.117, p.267–295, 2015. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.06.008>>. Accessed: Dez, 08, 2021. doi: 10.1016/j.phytochem.2015.06.008.

KEARSLEY, M. W. & KATSABOXAKIS, K. Z. Stability and use of natural colours in foods red beet powder, copper chlorophyll II powder and cochineal. **International Journal of Food Science & Technology**, v.15, p.501–514, 1980.

Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb00969.x>>. Accessed: Dez, 18, 2021. doi: 10.1111/j.1365-2621.1980.tb00969.x.

KIM S.-H. et al. Cytoprotective Effect by Antioxidant Activity of *Codonopsis lanceolata* and *Platycodon grandiflorum* Ethyl Acetate Fraction in Human HepG2 Cells. **Korean Journal Food Science Technology**, v.40, p.696–701, 2018.

KINUPP, V. F & BARROS, I. B. I. Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl.1, p.63-65, 2007. Available from: <<http://hdl.handle.net/10183/12870>>. Accessed: Dez, 08, 2020. doi: 10183/12870.

KINUPP, V. F. & BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.4, p.846-857, 2008. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000400013>>. Accessed: Nov, 28, 2020. doi: 10.1590/S0101-20612008000400013.

KOHAJDOVA, Z. et al. Utilisation of beetroot powder for bakery applications. **Chemical Papers**, v.72, p.1507–1515, 2018.

KOO, Hye-Jin et al. Anti-inflammatory evaluation of gardenia extract, geniposide and genipin. **Journal of Ethnopharmacology**, v.103, p.496–500, 2006. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.08.011>>. Accessed: Set, 10, 2020. doi: 10.1016/j.jep.2005.08.011.

KUMAR, S. S. et al. Nanoliposomal encapsulation mediated enhancement of betalain stability: Characterisation, storage stability and antioxidant activity of *Basella rubra* L. fruits for its applications in vegan gummy candies. **Food Chemistry**. v.333, p.127442, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127442>>. Accessed: Set, 12, 2020. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127442.

KUMAR, V. et al. Process optimization for the preparation of antioxidant rich ginger candy using beetroot pomace extract. **Food Chemistry**, v.245, p.168– 177,

2018. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.089>>. Accessed: Set, 21, 2021. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.089.

KUMAR, S. N. A. et al. Extraction optimization and characterization of water soluble red purple pigment from floral bracts of *Bougainvillea glabra*. **Arabian Journal of Chemistry**, v.10, p.2145-2150, 2017. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.047>>. Accessed: Jan, 15, 2022. doi: 10.1016/j.arabjc.2013.07.047.

MADADI, E. et al. Therapeutic Application of Betalains: A Review. **Plants.**, v.9, p.1219; 2020. Available from: <<http://dx.doi.org/10.3390/plants9091219>>. Accessed: Fev, 05, 2022. doi: 10.3390/plants9091219.

MARKANDAN, S. et al. Determination of antioxidant activities, total phenolic and flavanoid contents in *Bougainvillea glabra* bracts at various methanol concentrations. **Conference Proceedings, AIP Publishing**, p.030-038, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1063/1.4966776>>. Accessed: Mar, 19, 2022. doi: 10.1063/1.4966776.

MARAN, P. J. et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigments from *Bougainvillea glabra* flowers. **Industrial Crops and Products**, v. 63, p.182-189, 2015. Available from: <<http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.059>>. Accessed: Jan, 16, 2022. doi: 0.1016/j.indcrop.2014.09.059.

MARTINS, N. et al. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. **Trends Food Science Technology**. v.52, p.1–15, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>>. Accessed: Jul, 25, 2021. doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.009.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, P. et al. Health-promoting potential of betalains in vivo and their relevance as functional ingredients: A review. **Trends in Food Science & Technology**. v.122, p.66–82, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.020>>.

MENDHEKAR, S. Y. et al. Pharmacognostic, phytochemical, physicochemical and tlc profile study of leaves *Bougainvillea glabra* Choisy (Nyctaginaceae). **World**

Journal of Pharmaceutical Research. v.7, p.2277– 7105, 2018. Available from: <<http://doi.org/10.20959/wjpr20181-10487>>. Accessed: Dez, 16, 2021. doi: 10.20959/wjpr20181-10487.

MEREDDY, R. Betalain rich functional extract with reduced salts and nitrate content from red beetroot (*Beta vulgaris L.*) using membrane separation technology. **Food Chemistry.** v.215, p.311–317, 2017. Available from: <<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.132>>. Accessed: Mar, 16, 2022. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.132.

MESQUITA, S. S. et al. Carotenoids: Properties, Applications and Market. **Revista Virtual Química,** v.9 (2), p.672-688, 2017. Available from: <<http://rvq.s bq.org.br/>>. Accessed: Fev, 06, 2022.

OROIAN, M. et al. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Reserch International.** v.74, p.10–36, 2015. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>>. Accessed: Jan, 22, 2022. doi: 10.1016/j.foodres.2015.04.018.

OZTURK, G. et al. Physicochemical, functional and sensory properties of mellorine enriched with different vegetable juices and TOPSIS approach to determine optimum juice concentration. **Food Bioscience.** v.7, p.45–55, 2014. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.05.001>>. Accessed: Mar, 27, 2021. doi: 10.1016/j.fbio.2014.05.001.

POLTURAK, G. et al. Engineered gray mold resistance, antioxidant capacity, and pigmentation in betalain-producing crops and ornamentals. **Proceedings of the National Academy of Sciences,** v.114, p.9062–9067, 2017. Available from: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1707176114>>. Accessed: Mar, 15, 2022. doi: 10.1073/pnas.1707176114.

RAHIMI, P. et al. Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 59, p. 2949-2978, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1479830>>. Accessed: Mai, 27, 2022. doi: 10.1080/10408398.2018.1479830.

RANA, P. et al. Butterflypea (*Clitoria ternatea*) extract as a green analytical tool for selective colorimetric detection of bisulphate (HSO₄⁻) ion in aqueous medium. **Elsevier: Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**. 237, 1386-1425, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118376>>. Accessed: Nov, 21, 2021. doi: 10.1016/j.saa.2020.118376.

RANI, J. M. J. et al. Antioxidant activity, preliminary phytochemical investigation and GC-MS study of *Bougainvillea glabra Choisy* leaves, **International Journal. Pharmacology. Science**. v.4, p.12-16, 2012.

RAVICHANDRAN, K. et al. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. **Food Research International**. v.50, p.670-675, 2013. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.002>>. Accessed: Nov, 12, 2021. doi: 10.1016/j.foodres.2011.07.002.

REKHA, M. N. et al. Influence of vegetable purees on quality attributes of pastas made from bread wheat (*T-aestivum*). **CyTA-Journal Food**, v.11, p.142-149, 2013. Available from: <<https://doi.org/10.1080/19476337.2012.708881>>. Accessed: Dez, 11, 2021. doi: 10.1080/19476337.2012.708881.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, v.124, p.200-205, 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>>. Accessed: Ago, 23, 2021. doi: 10.1016/j.foodres.2018.05.028.

SADOWSKA-BARTOSZ, I., & BARTOSZ, G. Biological properties and applications of betalains. **Molecules**, v.26, p.9, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.3390/molecules.26092520>>. Accessed: Dez, 09, 2021. doi: 10.3390/molecules.26092520.

SALEEM, H. et al. *Bougainvillea glabra (Choisy)*: A comprehensive review on botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicity. **Journal of Ethnopharmacology**, v.226, p.113-356, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113356>>. Accessed: Set, 19, 2021. doi: 10.1016/j.jep.2020.113356.

SALEEM, H. et al. Phytochemical Profiling, Antioxidant, Enzyme Inhibition and Cytotoxic Potential of *Bougainvillea glabra* Flowers. **Natural Product Research**, v.34, p.2602–2606, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1543684>>. Accessed: Dez, 19, 2021. doi: 10.1080/14786419.2018.1543684.

SANTOS, C. D. et al. Effect of thermal and high pressure processing on stability of betalain extracted from red beet stalks. **Journal of Food Science and Technology**, v.55, n.2, p.568-577, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2966-0>>. Accessed: Jan, 19, 2022. doi: 10.1007/s13197-017-2966-0.

SHALINI, M. et al. In-vitro Antioxidant Activities, Phytoconstituent and Toxicity Evaluation of Local *Bougainvillea glabra* Bract (Bunga Kertas). **International Journal of ChemTech Research**. v.11, n.09, p.22-30, 2018. Available from: <<http://doi.org/10.20902/IJCTR.2018.110904>>. Accessed: Nov, 07, 2021. doi: 10.20902/IJCTR.2018.110904.

SIGURDSON, G. et al.. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, v.8, 2017. Available from: <<http://doi.org/10.1146/annurev-food030216-025923>>. Accessed: Mai, 28, 2020. doi: 10.1146/annurev-food030216-025923.

SLANTAR, A. et al. Identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) parts and cultivars. **Journal Food Science**, v.80. p.952–1958, 2015. Available from: <<https://doi.org/10.1111/1750-3841.12977>>. Accessed: Mar, 18, 2022. doi: 10.1111/1750-3841.12977.

PANGHAL, A. et al. Development of probiotic beetroot drink. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v.5, p.257–262, 2017. Available from: <<http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.10>>. Accessed: Jul, 28, 2022. doi: 10.12944/CRNFSJ.5.3.10.

PIATTELLI, M. et al. Betaxanthins from *Mirabilis jalapa* L. **Phytochemistry**, p.817–823, 1965. Available from: <[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86258-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86258-5)>. Accessed: Fev, 27, 2022. doi: 10.1016/S0031-9422(00)86258-5.

POLTURAK, G. & AHARONI A. “La vie en rose”: biosynthesis, sources, and applications of betalain pigments. **Molecular Plant**, v.11, p.7-22, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.10.008>>. Accessed: Oct, 08, 2021. doi: 10.1016/j.molp.2017.10.008.

TRIPATHI, S. et al. “Pollen morphology of *Bougainvillea* (Nyctaginaceae): A popular ornamental plant of tropical and sub-tropical gardens of the world,” **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.239, p.31–46, 2017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2016.12.006_0034-6667>. Accessed: Dez, 18, 2021. doi: 10.1016/j.revpalbo.2016.12.006_0034-6667.

VARELTZIS, K. P. & BUCK, E. M. Color stability and sensory attributes of chicken frankfurters made with betalains and potassium sorbate versus sodium nitrite. **Journal of Food Protection**, v.47, p.41–45, 1984 Available from: <<https://doi.org/10.4315/0362-028X-47.1.41>>. Accessed: Mar, 28, 2022. doi: 10.4315/0362-028X-47.1.41.

VARGAS-ABARCA, R. & PETRICEVICH, V. L.: *Bougainvillea* Genus: A Review on Phytochemistry, Pharmacology, and Toxicology. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p.17, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1155/2018/9070927>>. Accessed: Jan, 12, 2022. doi: 10.1155/2018/9070927.

VICENT, S. et al. Swift fabrication of silver nanoparticles using *Bougainvillea glabra*: potential against Japanese encephalitis vector *Culex tritaeniorhynchus* Giles (diptera: culicidae), **Journal Cluster Science**. v.28, p.37–58, 2017. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s10876-016-1038-3>>. Accessed: Fev, 04, 2022. doi: 10.1007/s10876-016-1038-3.

VIDAL, V. M. et al. Ajuste de modelos e difusividade efetiva na secagem de folhas de *Azadirachta indica* A. Juss. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v.21, n. 4, p.1-12, 2016.

VON ELBE, J. H. et al. Colour stability of betanin. **Journal of Food Science**, v.39, p.334–337, 1974.

XIAO, C. G. The coloring effect and antioxidant effect of red beet in minced pork. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, v.19, p.111–121, 2019.

YAVUZER, E. et al. Impact of icing with potato, sweet potato, sugar beet, and red beet peel extract on the sensory, chemical, and microbiological changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets stored at (3 ± 1 °C). **Aquaculture International**, v.28, p.187–197, 2020.

ZHANG, Y. J. et al. Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. **Molecules**. v.20, p.21138–21156, 2015.

WANG, L. & WELLER, C. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. **Trends in Food Science & Technology**, v.17, n.6, p.300-312, 2006. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>>. Accessed: Jun, 14, 2021. doi: 10.1016/j.tifs.2005.12.004.

WU, Q. et al. Composition, Color Stability and Antioxidant Properties of Betalain-Based Extracts from Bracts of *Bougainvillea*. **Molecules**, v.27, p.5120, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.3390/molecules27165120>>. Accessed: Nov, 18, 2021. doi: 10.3390/molecules27165120.

CAPÍTULO II

ARTIGO ENVIADO A REVISTA

“Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental”

CINÉTICA DE SECAGEM DO PÓ OBTIDO DAS BRÁCTEAS DA

BOUGAINVILLEA GLABRA

CINÉTICA DE SECAGEM DO PÓ OBTIDO DAS BRÁCTEAS DA *BOUGAINVILLEA GLABRA*

Larissa Almeida Antunes¹, Carolina Nascimento Alves de Lima¹, José Lucena Barbosa Junior¹; Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa¹.

1Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil.

*E-mail: almeida.ufrj@outlook.com. *Corresponding author.*

RESUMO

As brácteas da *Bougainvillea glabra* são ricas em betalaínas e antioxidantes que auxiliam no tratamento de doenças causadas pelo estresse oxidativo. Betalaínas tem aplicação como corante natural na indústria de alimentos e sua forma em pó tem sido utilizada pelo método de secagem. No entanto, o produto final é afetado em termos de suas propriedades físico-químicas. O presente estudo avaliou os modelos matemáticos em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C) durante a secagem de brácteas de *Bougainvillea glabra* em estufa com circulação de ar. Dentro dos 7 modelos testados (Page, Lewis, Henderson–Pabis, Logarítmico, Weibull, Midilli e Wang Sing), o que melhor se ajustou foi o modelo de Midilli, escolhido para descrever a cinética de secagem à 50 °C das brácteas.

Palavras-chave: vegetal, corante natural, modelagem matemática, betalaínas

ABSTRACT

Bougainvillea glabra bracts are rich in betalains and antioxidants that help in the treatment of diseases caused by oxidative stress. Betalains have application as a natural dye in the food industry and their powder form has been used by the drying method. However, the final product is affected in terms of its physicochemical properties. The present study evaluated the mathematical models at different temperatures (40, 50 and 60 °C) during drying of Bougainvillea glabra bracts in an oven with air circulation. Among the 7 models tested (Page, Lewis, Henderson–Pabis, Logarithmic, Weibull, Midilli and Wang Sing), the one that best fitted was the Midilli model, chosen to describe the drying kinetics at 50 °C of the bracts.

Keywords: vegetable, natural dye, mathematical modeling, betalains.

1. INTRODUÇÃO

A água é a principal responsável pelo aumento das atividades metabólicas e alterações químicas e físicas no armazenamento de alimentos. Desta maneira, para manter a qualidade das plantas após a colheita, é fundamental reduzir o teor de água por meio da desidratação (GONELI *et al.*, 2014). O método de desidratação tem como princípio a diminuição do conteúdo de água, fator primordial na conservação dos alimentos. A desidratação apresenta vantagens por aumentar a vida útil do produto, ser econômica na produção caseira ou semi industrial, ter baixo custo, facilita o armazenamento e o transporte de alimentos secos (CELESTINO, 2010).

Durante o processo de desidratação de vegetais o aspecto mais crítico é manter sua qualidade e preservar as propriedades nutricionais, físicas e químicas (FIGIEL & MICHALSKA, 2017). Desta forma, o grande desafio na indústria de alimentos é encontrar a técnica de secagem mais adequada que resulte na alteração não significativa de cor, nutrientes e que forneça eficiência na desidratação do produto. Um modelo matemático que descreve a cinética de secagem é normalmente expresso em função da massa total do material úmido e do tempo de duração do processo. O problema no processo de modelagem é que o mecanismo responsável pela taxa total de transferência de massa não é constante durante a etapa de secagem (CUI *et al.*, 2004).

Existem diferentes maneiras de realizar a secagem, como em bandeja, a vácuo, por spray, microondas, em tambor, esteira de espuma e outros (BRAR *et al.*, 2020). Dentre os novos métodos de secagem, a secagem em esteira de espuma é uma tecnologia inovadora e mais simples para a formação de pó, devido a facilidade de remoção do excesso de umidade sem afetar a cor, textura e propriedades nutricionais (SANGAMITHRA *et al.*, 2015). A secagem em leito de espuma é uma das técnicas

empregadas para a obtenção de produtos alimentícios em pó destacando-se por ser um método em que alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, através de vigorosa agitação e incorporação de agentes espumantes para, posteriormente, serem desidratados (SILVA *et al.*, 2008).

Assim, com secagem em esteira de espuma, é possível reduzir o tempo do processo, o que evita a degradação de compostos sensíveis ao calor presentes nos alimentos (KANDASAMY *et al.*, 2014). Além disso, o curto tempo de secagem também pode evitar alterações nas propriedades físicas dos alimentos. Este tipo de secagem é adequado para todos os tipos de sucos/polpas, viscosos ou pegajosos e o pó final tem aplicação na panificação, sorvetes, lanches, bebidas, pastas, alimentos instantâneos e outros (SANGAMITHRA *et al.*, 2015) e oferece alta taxa de secagem em temperaturas mais baixas, que variam de 50 a 80 °C, o que a torna o processo econômico em comparação com outros métodos de secagem (HARDY & JIDEANI, 2017). O princípio desta secagem é criar espuma com os agentes espumantes onde a batida ajuda a incorporar o ar aumentando a área de superfície para uma secagem eficaz (BENKOVIĆ *et al.*, 2019). O agente espumante ajuda a estabilizar a espuma durante a secagem e os vapores de água escapam da estrutura através dos canais criados entre as células de ar aumentando a taxa de secagem. Este método fornece o calor necessário para a formação de vapores da espuma (OSAMA *et al.*, 2022).

Um alimento em pó de alta qualidade pode ser obtido pela seleção adequada de métodos de formação de espuma, agentes espessantes, estabilizadores de espuma, tempo de formação de espuma, método de secagem adequado e temperatura (SANGAMITHRA *et al.*, 2015). Além disso, a presença de agentes espumantes como proteínas (por exemplo, de ervilha e albumina de ovo) e gomas pode ajudar na formação de poros e aumentar a área de superfície (BAGHERI *et al.*, 2021). Entretanto, poucos estudos se propõem à

modelagem e/ou a simulação matemática, que possibilita o dimensionamento, a otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial como corante natural rosa, obtido por secagem em espuma, para seu uso com fins alimentícios.

Há algumas décadas, o estudo e a modelagem matemática de cinética de secagem tem despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diversos produtos (FARIA, 2012). Neste sentido é de suma importância o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, para as mais diversas espécies de plantas medicinais, aromáticas e condimentares, a fim de obter o modelo mais adequado para cada espécie vegetal. Os modelos matemáticos são fundamentais para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem, bem como para estimar o tempo necessário para a redução do teor de água do produto (ZHANG *et al.* 2017).

Foram ajustados a 7 modelos matemáticos (Page, Lewis, Weibull, Henderson-Pabis, Logarítmico, Midilli e Wang Sing), aos dados experimentais para a secagem das brácteas da *B. glabra*. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi propor um modelo matemático que pudesse descrever a cinética de secagem envolvida.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As brácteas da *B. glabra* (GB) foram obtidas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) localizada em Seropédica, Rio de Janeiro-RJ (22° 77 '52" S e 74° 39' 35" L). O material foi colhido manualmente e encaminhado ao Laboratório Multiusuário do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) para seleção, determinação do teor de umidade e realização da cinética de secagem em estufa com circulação forçada de ar.

2.1 Cinética da secagem das brácteas

O processo de secagem das brácteas foi realizado em secador convectivo de bandejas com circulação forçada de ar quente (marca: Viminias), nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, com velocidade de 2,5 m/s, medida através do anemômetro (marca Mimipa MDA-1, São Paulo, Brasil). A temperatura interna da secadora (°C), a temperatura externa (°C) e umidade relativa do ar (RU%) foram medidas com termômetro externo com registro de umidade (marca Kasvi). A temperatura externa do ar ambiente foi de 28,3 °C e a umidade relativa do ar na sala foi de 51%. A temperatura interna da secadora foi medida até que se atingisse 40 °C, 50 °C e 60 °C, respectivamente em cada secagem.

As brácteas foram dispostas e secas em bandejas de alumínio perfuradas. A pesagem das amostras foi realizada de maneira repetitiva e contínua até que fosse obtido o peso final constante de cada bandeja, em triplicata, como mostra a tabela 3. As curvas de secagem foram obtidas convertendo os dados relativos à perda de água no parâmetro razão de teor de água adimensional (RU), utilizando a Equação 1:

$$RU = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs\ inicial} - X_e} \quad \text{Equação (1)}$$

RU = razão de umidade (adimensional);

X_{bs} = teor de água (base seca);

$X_{bs\ inicial}$ = teor inicial de água (base seca);

X_e = teor de água no equilíbrio (base seca).

Os dados das cinéticas de secagem foram tabulados em planilhas do software Excel do pacote Microsoft Office Professional Plus 2019 e os gráficos foram elaborados utilizando o software SIGMAPLOT 11.0.

2.2 Teor de umidade das brácteas e espuma

Para determinação do teor de umidade das brácteas e da espuma, foi realizado o método de secagem estufa, onde as brácteas *in natura* foram secas à 105 °C por 24 h (AOAC 1990). Inicialmente foram preparados cadinhos de papel alumínio com área média de 18 cm² e altura média de 3 cm, em triplicata. Os cadinhos foram tarados e adicionados de 2 g de massa úmida das brácteas. O teor de umidade em base úmida (bu %) foi obtido pelo uso da Equação 2 abaixo, onde a massa de água corresponde à diferença entre a massa inicial (m_i) da amostra úmida e a massa da amostra seca.

$$M(b.u) = \left(\frac{m_{H_2O}}{m_i} \right) \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$M(b.u)$ = teor de água da amostra;

m_{H_2O} = teor de água final da amostra;

m_i = teor de água inicial da amostra.

2.3 Modelos matemáticos de cinética de secagem utilizados em alimentos

O programa computacional utilizado para construção das curvas de secagem e ajuste dos modelos matemáticos foi o SigmaPlot 11.0. Os valores preditos de RU em função do tempo de secagem, obtidos a partir do modelo escolhido como melhor ajuste, foram utilizados para o cálculo do coeficiente de difusão efetiva (Def) a partir da resolução da equação da difusão (CRANK, 1975).

Uma análise de regressão não-linear foi realizada para ajustar os 7 modelos matemáticos (Tabela 1) aos dados experimentais por meio do software SIGMAPLOT 11.0, que utiliza o algoritmo de Levenberg-Marquardt (MARQUARDT, 1963).

Observou-se o coeficiente de determinação ajustado (R^2 adj) e a significância dos parâmetros ($p < 0,05$).

Tabela 1: modelos matemáticos de cinética de secagem utilizados em alimentos.

<i>Modelos</i>	<i>Equações</i>	<i>Aplicações</i>	<i>Referências</i>
<i>Page</i>	$X = X_e + (X_o - X_e) \exp \exp (-kt^n)$	Folhas e frutas	(MUGI <i>et al.</i> , 2022; RURUSH <i>et al.</i> , 2022; MARTINAZZO <i>et al.</i> 2007; PANCHARIYA <i>et al.</i> , 2002)
<i>Lewis</i>	$X = X_e + (X_o - X_e) \exp \exp (-kt)$	Flores e Frutas	(RURUSH <i>et al.</i> , 2022; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013; BASSEY <i>et al.</i> , 2022)
<i>Weibull</i>	$X = X_e + (X_o - X_e) \exp \exp \left(-\frac{t}{\beta}\right)$	Uvas e beterraba	(MALAKAR <i>et al.</i> , 2022; ESSALHI <i>et al.</i> , 2018)
<i>Henderson-Pabis</i>	$X = X_e + (X_o - X_e)(-kt)$	Alga marinha	(ZHANG <i>et al.</i> , 2022; DEGIRMENCI OGLU <i>et al.</i> , 1999)
<i>Midilli</i>	$X = X_e + (X_o - X_e)(-kt^n) + bt$	Capim-limão e uvas	(ZHANG <i>et al.</i> , 2022; MARTINAZZO <i>et al.</i> 2007)
<i>Wang e Sing</i>	$X = X_e + (X_o - X_e)(1 + at + bt^2)$	Filme de celulose	(IBRAHIM, <i>et al.</i> , 2022)

Logarítmico	$X = X_e + (X_o - X_e)(-kt^n) + c$	Goiaba	(DEGIRMENCI OGLU <i>et al.</i> , 1999)
--------------------	------------------------------------	---------------	--

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK *et al.*, 2002; ROMERO-PEÑA & KIECKBUSCH, 2003).

Pesquisas relacionadas ao estudo da cinética de secagem são realizadas com diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos com importância econômica. Conforme o produto e as condições do processo de secagem, diferentes modelos se ajustam a cada situação específica. Os 7 modelos matemáticos citados acima descreveram a secagem de matrizes alimentares de origem vegetal. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou para a secagem de folhas e frutos, de acordo com os estudos realizados pelos autores MUGI *et al.*, 2022; RURUSH *et al.*, 2022; MARTINAZZO *et al.* 2007 e PANCHARIYA *et al.*, 2002.

Na cinética de secagem de maçã e melancia, Lingayat *et al.* (2020b) constataram que o modelo de Page e Midilli foram os mais adequados. Panchariya *et al.* (2002) ajustaram várias equações aos dados experimentais da secagem de “chá-preto” e concluíram que o modelo de Lewis reproduziu melhor os dados experimentais de secagem em camada delgada para as faixas de temperatura de 80 a 120 °C.

Demir *et al.* (2004), ao avaliarem diferentes modelos matemáticos para a secagem de louro (*Laurus nobilis L.*), concluíram ser o modelo de Page o que melhor descreveu o

processo, enquanto Doymaz *et al.* (2006), avaliando a secagem de folhas de endro (*Anethum graveolens L.*) e de salsinha (*Petroselinum crispum L.*), definiram o modelo de Midilli como o mais adequado para descrever as curvas de secagem nas temperaturas de 40 a 70 °C.

No estudo realizado por Essalhi *et al.*, 2018, os pesquisadores avaliaram o comportamento da secagem de uvas sob sol aberto e em secador solar indireto e concluíram que o modelo Midilli foi o que melhor descreveu o comportamento da secagem das uvas tanto na secagem solar indireta quanto na secagem ao sol.

Zhang *et al.*, 2022 realizaram o estudo da cinética de secagem de algas marinhas usando a tecnologia de secagem por bomba de calor. Os resultados mostraram que o modelo de Henderson-Pabis foi eficaz em descrever a mudança no teor de umidade durante a secagem com bomba de calor.

2.4 Cálculo do coeficiente de difusividade efetiva (*Def*)

O coeficiente de difusão efetivo ou difusividade efetiva (*Def*) foi obtido pelo ajuste do modelo para forma geométrica de placa plana aos dados experimentais da secagem, com a aproximação de 10 termos. Assumiu-se a aproximação das brácteas com a forma de uma placa plana usando as seguintes informações (CRANK, 1975).

- umidade inicial uniforme $X(z, t) = X(z, 0) = X_0$;
- umidade máxima no centro $dX/dz|_{z=0} = 0$;
- umidade constante na superfície $X(z, t) = X(l, t) = X_{eq}$.

Desta forma, utilizou-se a Equação 3:

$$RU = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i + 1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

t = tempo de secagem (s);
 i = número de componentes (1);
 D_{ef} = difusividade efetiva (m²/s);
 L = espessura da amostra plana (m);
 RU = razão de umidade (adimensional).

Para determinação da espessura das brácteas, foi utilizado um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Para cada bráctea medida, foram feitas três medições, em diferentes locais. A espessura da amostra plana é de 0,3 mm ou 10⁻⁴ m. Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação de Arrhenius, descrita da seguinte forma:

$$D = D_{exp} e^{-E_a/R T_a} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

D_{exp} = fator pré-exponencial;

E_a = energia de ativação (kJ mol⁻¹);

R = constante universal dos gases (8,314 kJ kmol⁻¹ K⁻¹);

T_a = temperatura absoluta (K).

Os dados experimentais de cinética de secagem foram submetidos à análise de regressão e seleção do modelo matemático adequado, para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional Statistica 7.0®. O cálculo do Def foi realizado utilizando o SigmaPlot 11.0. O comportamento do Def das curvas de cinética auxiliou na escolha da melhor temperatura para realizar a secagem das brácteas de *B. glabra*.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ajustado (variância explicada), do erro médio relativo e

desvio padrão da estimativa, além da verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. Os valores de erro médio relativo (P) e desvio padrão da estimativa (SE) foram calculados conforme descrito nas Equação 5 e 6 a seguir

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right| \right) \quad \text{Equação (5)} \quad SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right| \right)^2}{GLR}} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

n = número de observações experimentais;

Y = valor experimental;

\hat{Y} = valor estimado pelo modelo;

GLR = graus de liberdade do modelo.

2.5 Secagem em espuma

A secagem em espuma permite maior superfície de contato das bolhas de ar formadas na espuma, isto impacta positivamente a secagem, pois, com o aumento do contato do ar quente com a espuma, mais facilmente será removida a água do material. A partir da informação da melhor temperatura de secagem no processo convencional, que foi adquirida a partir dos modelos cinéticos, realizou-se a secagem em espuma, seguindo a metodologia de acordo com Osama *et al.* (2022) e Ng *et al.* (2018), com modificações nas concentrações dos ingredientes responsáveis pela formação da espuma.

Primeiramente foram realizados testes preliminares para definir as quantidades exatas de cada ingrediente utilizado na formulação da espuma. A partir da escolha e definição das quantidades. Foram misturados 15g das brácteas in natura com 90 mL de água destilada, 10g de proteína de ervilha e 2g de goma xantana. A mistura foi realizada em batedeira comum, na velocidade 5 durante 10 minutos, até que se obteve a

consistência de espuma. A espuma foi vertida e espalhada uniformemente sobre uma placa de aço de dimensões (25mm × 12mm × 7mm). A espuma foi seca em um secador de bandeja em temperatura controlada do ar de entrada (50 °C).

A perda de umidade foi determinada pesando as amostras em intervalos de 10 em 10 minutos na primeira hora, depois de 15 em 15 minutos na segunda hora, depois de 30 em 30 minutos na terceira hora e no final a cada 60 min. A secagem foi interrompida após a obtenção do peso constante por três vezes consecutivas. Após a secagem, a espuma foi moída, peneirada e armazenada em tubo falcon envelopado com papel alumínio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética de secagem das brácteas

Dentre os modelos usados para descrever o comportamento de secagem em camada fina de produtos agrícolas, estão os de base teórica, empírica e semi empírica. O modelo semi empírico é o mais aplicado, pois sugere uma relação entre a teoria e a aplicação, advindos da teoria da difusão líquida com base na lei de Fick e na teoria de resfriamento de Newton (TORKI-HERCHAGANI et al., 2016).

O modelo de Fick com 10 termos foi testado para o cálculo matemático da secagem das brácteas nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C. Assim como nos modelos anteriores, foram obtidos valores de R^2 (coeficiente de determinação ajustado), Def (difusividade efetiva), P (desvio relativo médio), SE (erro médio estimado) e DF (grau de liberdade do modelo). Para o cálculo da Difusividade foi realizado o método por identificação a partir das curvas de secagem.

Neste estudo o modelo de Fick com 15 termos não foi bem ajustado, apesar de apresentarem coeficiente de determinação satisfatório com valores de R^2 superiores a 95%. No entanto, é necessário que os valores encontrados de DF e SE sejam próximos de 0 e que R^2 seja próximo ou igual a 1, para que o modelo se ajuste bem. Desta forma, ao observar a Tabela 2 abaixo, verifica-se que, para o Modelo de Fick, não foi possível obter valores de DF e SE tão próximos de 0 quanto nos valores encontrados no modelo de Midilli. Assim, pode-se dizer que o modelo de Fick não se ajustou bem para a secagem das brácteas da *B. glabra*.

São apresentados na Tabela 2 os valores experimentais de umidade em base seca e razão de umidade (RU), em função do tempo (t), para cada temperatura de secagem (40, 50 e 50 °C) das brácteas.

Tabela 2 - Valores de umidade em base seca (U_{bs}) e razão de umidade (RU), em função do tempo (t), para cada temperatura (T) de secagem (40, 50 e 60 °C).

Tempo (min)	Temperatura 40 (°C)		Temperatura 50 (°C)		Temperatura 60 (°C)	
	teor de umidade bs	RU Exp	teor de umidade bs	RU Exp	teor de umidade bs (g de água/g de massa seca)	RU Exp
0	3,523	1,000	3,822	1,000	3,822	1,000
15	3,074	0,870	2,295	0,596	2,070	0,542
30	2,799	0,790	1,454	0,374	1,272	0,333
45	2,547	0,717	0,782	0,196	0,710	0,186
60	2,281	0,640	0,422	0,101	0,344	0,090
75	2,073	0,580	0,196	0,042	0,124	0,032
90	1,869	0,521	0,109	0,019	0,036	0,009
105	1,646	0,457	0,069	0,008	0,007	0,002
120	1,448	0,400	0,052	0,003	-	-
135	1,263	0,346	0,047	0,002	-	-
150	1,080	0,293	0,047	0,002	-	-
165	0,910	0,244	0,048	0,002	-	-
180	0,760	0,200	0,045	0,002	-	-
195	0,620	0,160	0,039	-	-	-
210	0,511	0,128	-	-	-	-
225	0,424	0,103	-	-	-	-
240	0,351	0,082	-	-	-	-

265	0,285	0,063	-	-	-	-
280	0,243	0,051	-	-	-	-
295	0,207	0,041	-	-	-	-
305	0,178	0,032	-	-	-	-
320	0,156	0,026	-	-	-	-
335	0,135	0,020	-	-	-	-
350	0,120	0,015	-	-	-	-
365	0,108	0,012	-	-	-	-
380	0,099	0,009	-	-	-	-
395	0,090	0,007	-	-	-	-
405	0,077	0,003	-	-	-	-
420	0,071	0,001	-	-	-	-
435	0,070	0,001	-	-	-	0

bs = base seca; RU = razão de umidade.

É possível observar que, conforme esperado, o equilíbrio do processo de secagem é atingido mais rapidamente nas temperaturas de 50 °C e 60 °C, quando comparada aos resultados a 40 °C. A evaporação da água contida em um sólido é governada pela transferência de calor e transferência de massa, a qual a transferência de massa é uma função da natureza física do sólido, em termos de sua temperatura e teor de umidade, e o calor é governado por parâmetros como temperatura, umidade do ar, fluxo de ar, direção do ar e área exposta do sólido (PARK *et al.*, 2001).

Tirando como exemplo as amostras processadas por 120 minutos, foi observada uma umidade menor nas amostras desidratadas a 50 °C e 60 °C em comparação com as amostras secas a temperatura de 40 °C. Este resultado afirma que, em temperaturas maiores, a remoção de água livre se dá de forma mais acelerada do que em temperaturas mais baixas (PARK *et al.*, 2001).

O presente estudo demonstrou que é possível obter um pó rosa, obtido das brácteas da *Bougainvillea glabra* que atenda às especificações de umidade (inferior a 13%, conforme Resolução nº 344, de 13 de dezembro de 2002) com tempos de secagem mais curtos (entre 105 e 195 min) ao usar um secador com circulação contínua de ar quente. O melhor modelo matemático que descreve a cinética de secagem foi o modelo de Midilli. A temperatura mais adequada para a secagem das brácteas foi de 50 °C, com ventilação forçada. Portanto, o aumento verificado nas transferências de calor e de massa foi influenciado pelo aumento da temperatura de secagem.

3.2 Ajuste de modelos aos dados de cinética de secagem

Na Tabela 3 estão apresentados os valores dos parâmetros dos sete modelos matemáticos analisados e os valores dos coeficientes de determinação ajustados (R^2 adj), da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

Tabela 3: Parâmetros dos modelos ajustados.

<i>Modelos</i>	<i>T (°C)</i>	<i>R²</i>	<i>R²(adj)</i>	<i>RMSE</i>	<i>E(%)</i>
<i>Handson-Pabis</i>	40 °C	0,9873	0,9869	0,035	238,466
	50 °C	0,9988	0,9975	0,015	126,712
	60 °C	0,9977	0,9973	0,017	267,496
<i>Lewis</i>	40 °C	0,9910	0,9853	0,037	90,080
	50 °C	0,9974	0,9974	0,015	126,379

	60 °C	0,9977	0,9977	0,016	153,388
Logaritmo	40 °C	0,9941	0,9937	0,014	132,372
	50 °C	0,9981	0,9978	0,014	17,806
	60 °C	0,9987	0,9982	0,014	46,834
Midilli	40 °C	0,9975	0,9972	0,014	57,864
	50 °C	0,9995	0,9986	0,011	32,024
	60 °C	0,9988	0,9980	0,015	90,294
Page	40 °C	0,9978	0,9955	0,000	42,272
	50 °C	0,9950	0,9934	0,010	-
	60 °C	0,9920	-	0,000	158,520
Wang e Sing	40 °C	0,9861	0,9857	6,378	1400,814
	50 °C	0,8548	0,8427	10,501	241,834
	60 °C	0,9580	0,9520	0,074	267,542
Weibull	40 °C	0,9853	0,9853	0,037	83,662
	50 °C	0,9975	0,9974	0,015	-
	60 °C	0,9977	0,9977	0,016	-

Em todos os casos, com exceção do modelo de Page para a temperatura de 60°C, os modelos foram ajustados e os parâmetros foram significativos ($p < 0,05$). Em relação ao R^2 , com exceção do 50 °C no modelo de Wang e Sing, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação (R^2) acima de 98,52%.

Sobre o RMSE, o ajuste do modelo é melhor quanto menor for o seu valor. Assim, o modelo de Wang e Sing apresentou ajustes insatisfatórios, pois o foram obtidos os maiores valores de RMSE, chegando a 6,378 e 10,501, nas temperaturas de 40 °C e 50 °C, respectivamente. Sendo que os demais modelos ficaram abaixo de 0,040.

Desta maneira o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou devido aos seus valores de RMSE serem menores em comparação aos outros modelos, com valor mínimo de 0,011, para a secagem realizada à 50 °C, e máximo de 0,015, para a secagem à 60 °C. Ainda, os valores do erro relativo médio (E%) foram os mais baixos encontrados para o modelo de Midilli, com 32,024 para a secagem do pó à 50 °C. Os valores de R² (adj) obtidos para a secagem à 50 °C, no modelo de Midilli, foram os mais satisfatórios em relação aos valores obtidos de outros modelos, com valor próximo de 1, sendo a secagem do pó feita à 50 °C com R² de 0,9986.

Outros estudos de secagem de folhas obtiveram resultados semelhantes, mostrando valores elevados de R². No trabalho realizado por Martinazzo *et al.* (2007), os autores obtiveram valores de R² acima de 97,07% para as folhas de capim limão, em temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C. Já no estudo realizado por Silva *et al.* (2015), na cinética de secagem de folhas de jenipapo, obtiveram valores de R² maiores que 99% nas temperaturas de 46 °C e 65 °C. Para a secagem em camada delgada da bráctea de macambira a 60 °C, Pessoa *et al.* (2015) obtiveram valores de R² superiores a 99% usando o modelo Page, exceto para o modelo de Fick.

O modelo de Fick com 10 termos foi testado para o cálculo matemático da secagem das brácteas nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C. Assim como nos modelos anteriores, foram obtidos valores de R² (coeficiente de determinação ajustado), Def (difusividade efetiva), P (desvio relativo médio), SE (erro médio estimado) e DF (grau de liberdade do modelo). Para o cálculo da Difusividade foi realizado o método por identificação a partir das curvas de secagem.

Neste estudo o modelo de Fick com 15 termos não foi bem ajustado, apesar de apresentarem coeficiente de determinação satisfatório R² superior a 95%. Desta forma,

ao observar a tabela 4 abaixo, verifica-se que, para o Modelo de Fick, não foi possível obter valores de DF e SE tão próximos de 0 quanto nos valores encontrados no modelo de Midilli. Assim pode-se dizer que o modelo de Fick não se ajustou bem para a secagem das brácteas de *B. glabra*. A tabela 4 mostra a comparação dos valores encontrados nos modelos de Fick e Midilli.

Tabela 4: Modelos de Fick (não ajustado) em comparação com modelo Midilli (ajustado).

FICK	40 °C	50 °C	60 °C
R²	0,984	0,992	0,997
Def (m²/s)	4 x 10 ⁻¹³	2 x 10 ⁻¹²	2 x 10 ⁻¹²
P	28,482	16,840	25,854
SE	0,078	0,033	0,017
DF	29	13	8
MIDILLI	40 °C	50 °C	60 °C
R²	0,997	0,999	0,999
Def (m²/s)	29	13	8
P	46, 824	57,864	32,024
SE	0,014	0,011	0,015
DF	26	10	5

Preconizou-se que, para o modelo ser considerado satisfatório, este deve ser ajustado para todas as condições, desta forma, com base nos parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos, o modelo de Midilli foi o único que atendeu aos critérios de seleção, e se mostra com ajuste satisfatório em descrever a secagem em todas as condições propostas.

O modelo de Midilli é tradicional, regularmente recomendado para descrever a cinética de secagem de folhas de plantas medicinais, como Gomes *et al.* (2017) trabalhando com folhas de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*), Mghazli *et al.* (2017) com folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis*), Alara *et al.* (2017) com folhas de Vernonia amygdalina, Martins *et al.* (2018) com folhas de Amora preta (*Morus nigra L.*) e Nurafifah *et al.* (2018) com folhas de *Plectranthus amboinicus*.

Assim, o modelo de Midilli expõe uma correspondência satisfatória entre os dados observados experimentalmente e os dados estimados, evidenciando que os parâmetros estatísticos empregados foram eficazes para selecionar o modelo.

A tabela 5 mostra os parâmetros do modelo de Midilli, para diferentes temperaturas de secagem das brácteas.

Tabela 5: Parâmetros do modelo de Midilli, para diferentes temperaturas de secagem das brácteas.

Temperatura	a	n	b
40 °C	0,9558	1,2833	0,6317
50 °C	0,9965	1,1080	3,5241
60 °C	0,9982	0,9587	3,2440

a, b e c – parâmetros do Modelo de Midilli

A tabela 6 demonstra os valores de Def, 1/T (K) e Ln Def durante a secagem das brácteas de *B. glabra* em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C).

Tabela 6: Parâmetros do modelo de Midilli: valores de Def, 1/T (K) e LnDef durante a secagem das brácteas de *B. glabra* em diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C).

Temperatura °C	Def (m ² /s)	1/T(K)	ln Def
----------------	-------------------------	--------	--------

40	4,00E-13	0,003193358	-28,54731185
50	2,00E-12	0,003094538	-26,93787394
60	2,00E-12	0,003001651	-26,93787394

De acordo com os resultados esperados, com tempo de secagem inversamente proporcional à temperatura, observa-se que o aumento de temperatura favoreceu o processo de transferência de massa e, conseqüentemente, o aumento da difusividade efetiva, pois quanto maior a difusividade menor a resistência de transferência de massa dentro da espuma, ou seja quanto maior a temperatura menor a resistência a transferência de massa.

Desta forma, verificou-se que, com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando o aumento da taxa de secagem, no entanto a mesma não é constante, demonstrando que a atividade de água no produto possivelmente é <1 , fato este observado por outros pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas (RESENDE *et al.*, 2008; PESSOA *et al.*, 2011).

O modelo de Page apresentou erros de convergência durante a análise estatística na temperatura de 60 °C e foi suprimido dessa análise. Estes erros de convergência implicam no grau de ajuste do modelo, onde o erro médio estimado calculado (MRE) teve valores muito altos, distante do valor desejado, que é próximo de zero.

Desta maneira, o modelo matemático de Page, apesar de ser bastante usado em cinética de secagem em alimentos, neste trabalho não se ajustou adequadamente como esperado.

Sendo assim, de um modo geral, os modelos estudados neste trabalho demonstraram uma representação adequada na descrição da modelagem matemática de cinética de secagem das brácteas da *B. glabra*, pois de acordo com Madamba *et al.* (1996), valores de R^2 devem ser maiores que 95%, sendo esta porcentagem o valor mínimo necessário para obter uma boa reprodução dos modelos. Portanto, o modelo de melhor ajuste para a matéria-prima em questão foi o de Midilli, pois, de acordo com a Tabela 2, apresentou maiores valores de R^2 para as temperaturas estudadas, e menor RMSE.

A partir deste resultado, construiu-se o gráfico (Figura 1) contendo os valores experimentais e preditos pelo modelo de Midilli da razão de umidade (RU) em função do tempo de secagem (em horas), para as temperaturas testadas (40 °C, 50 °C e 60 °C).

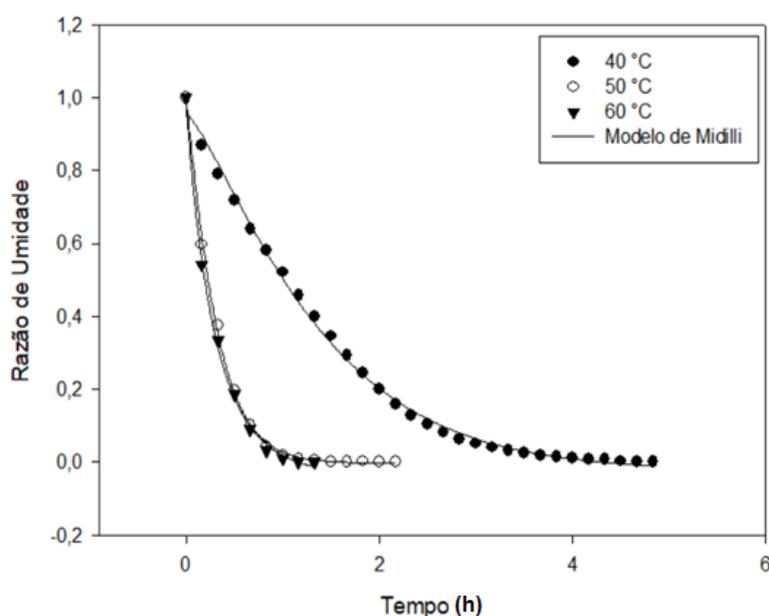


Figura 1: Valores experimentais e preditos pelo modelo de Midilli da razão de umidade (RU) em função do tempo de secagem das brácteas, para as 3 temperaturas (40, 50 e 60 °C).

Observa-se na figura 1 o comportamento descrito anteriormente sobre o efeito do aumento da temperatura no decréscimo do teor de água durante a secagem. Ao analisar o

tempo da análise em 120 min (2 horas), foi observada uma umidade menor nas amostras a 50 °C e 60 °C, em comparação com a amostra seca a 40 °C. Houve um aumento desse coeficiente da temperatura de 40 °C para 50 °C, mas de 50 °C para 60 °C o valor permaneceu constante, o que demonstra que para a secagem à 50 °C e 60 °C é necessário menos energia para retirar a umidade da amostra, conseqüentemente menor tempo de processo.

A figura 2 abaixo representa a regressão linear com os dados experimentais da difusão estimados pelo modelo de Midilli, para a secagem das brácteas a 40 °C, 50 °C e 60 °C.

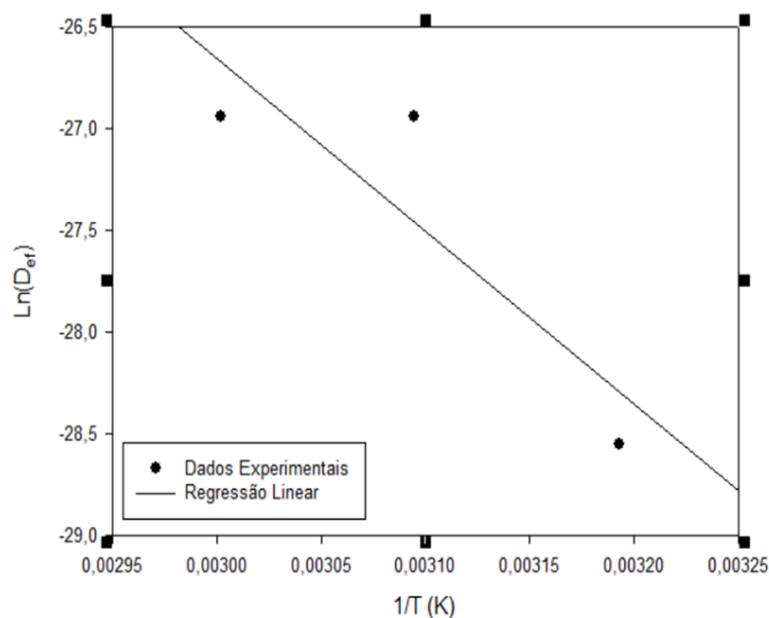


Figura 2: Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo, em função da temperatura do ar, durante a secagem das brácteas de *B. glabra*.

As figuras 3, 4, 5 e 6 demonstram os resultados finais dos pós obtidos por secagem convencional e em espuma em relação ao seu espectro de cor e tonalidade.



Figura 3: pó rosa das brácteas obtido por secagem convencional a 40 °C.



Figura 4: pó rosa das brácteas de *B.glabra* obtido por secagem convencional a 50 °C.



Figura 5: pó rosa das brácteas de *B.glabra* obtido por secagem convencional a 60 °C.



Figura 6: pó rosa das brácteas de *B. glabra* obtido por secagem em espuma a 50 °C.

As figuras 7 e 8 mostram o resultado inicial e final do preparo da espuma com as brácteas para a secagem a 50 °C.



Figura 7: Resultado da espuma rosa pré secagem a 50 °C.



Figura 8: Resultado da espuma rosa após secagem a 50 °C, sem moagem e peneiramento.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que é possível obter um pó rosa proveniente da secagem das brácteas da *Bougainvillea glabra*, que atende às especificações de umidade (inferior a 13%, conforme Resolução nº 344, de 13 de dezembro de 2002) com tempo de secagem menor (195 min) ao usar um desidratador com circulação contínua de ar quente.

O melhor modelo matemático que descreve a cinética de secagem em todas as temperaturas foi o modelo de Midilli. A temperatura mais adequada para a secagem das brácteas foi de 50 °C, com ventilação forçada. Desta maneira é possível obter um pó rosa, proveniente das brácteas de *B. glabra*, com secagem a 50 °C para possível utilização como corante natural na indústria de alimentos.

A secagem em esteira de espuma é uma alternativa de processo para a produção de pós alimentícios, pois este método apresenta vantagens, como por exemplo o tempo de secagem ser mais rápido, em temperaturas mais baixas, além do custo-benefício e por ser de fácil reconstituição dos produtos finais.

Com base nos resultados desta pesquisa, o pó rosa obtido das brácteas de *B. glabra*, pode ser utilizado como corante alimentício natural. No entanto, mais estudos são necessários para validar esses achados, além de estudos de otimização para melhorar ainda mais os desempenhos de secagem.

5. DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os patrocinadores do financiamento não tiveram nenhum papel no desenho do estudo; a coleta, análise ou interpretação de dados; a redação do manuscrito; ou a decisão de publicar os resultados.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio de toda a equipe do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). E foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no Brasil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSEY, E. J. et al. Improving drying kinetics, physicochemical properties and bioactive compounds of red dragon fruit (*Hylocereus species*) by novel infrared drying. **Food Chemistry**, v.375, p-13-188, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131886>>. Accessed: Mar, 3, 2021. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131886.

BENKOVIĆ, M. et al. Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract. **LWT - Food Science and Technology**. v.15, p-108-440, 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108440>>. Accessed: Oct, 9, 2021. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108440.

BAGHERI et al. The assessment of various properties of a novel celery pulp powder manufactured using foam mat drying. **Journal of Food Processing and Preservation**. v.45, p.160, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.1111/jfpp.16011>>. Accessed: Apr, 17, 2022. doi: 10.1111/jfpp.16011.

BRAR, A. S. et al. Optimization of Process Parameters for Foam-Mat Drying of Peaches. **International Journal of Fruit Science**. p-1495-1518, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1812017>>. Accessed: Oct, 9, 2021. doi: 10.1080/15538362.2020.1812017.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. **Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, Documentos / Embrapa Cerrados, v.51, p.2176-5081; 276, 2010.

CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. **Oxford University Press, London**, p.69-88, 1975.

DEGIRMENCIOGLU, A. et al. Características de secagem de folhas de louro sob diferentes condições de secagem. 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, **Adana, Turquia**, p.26-27, 1999.

ESSALHI, H. et al. Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.49, p-58–64, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.002>>. Accessed: Apr, 4, 2021. doi: 10.1016/j.ifset.2018.08.002.

FARIA, R. Q. et al. O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.5, p.573–583, 2012.

GAUTAM, S. et al. Fruits and vegetables as dietary sources of Antimutagens. **J. Food Chem. Nanotechnol.** v.2, p. 97–114, 2016. Available from: <<http://doi.org/10.17756/jfcn.2016-018>> Accessed: Apr, 3, 2021. doi: 10.17756/jfcn.2016-018.

HADIPOUR, E. et al. Biological effects of red beetroot and betalains: a review. **Phytotherapy Research**, v.34, p.1847–1867, 2020.

HARDY, Z. & JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.57, n.12, p.2560–2572, 2017. Available from: <<http://doi.org/10.1080/10408398.2015.1020359>>. Accessed: Nov, 7, 2021 doi: 10.1080/10408398.2015.1020359.

HENDERSON, S. M. & PABIS, S. Grain drying theory II: Temperature effects on drying coefficients. **Journal Agriculture Engineering Reserch**, v.6, p.169–174, 1961.

IBRAHIM, N. A. et al. Drying Regimes on Regenerated Cellulose Films Characteristics and Properties, **Membranes** v.12, p.445, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.3390/membranes120504452022>>. Accessed: Jun, 8, 2021. doi: 10.3390/membranes120504452022.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.13, n.05, p.427-433, 1921.

MALAKAR, S. et al. Evacuated tube solar and sun drying of beetroot slices: Comparative assessment of thermal performance, drying kinetics, and quality analysis. **Solar Energy**, v.233, p.246–258, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.01.029>>. Accessed: Jul, 10, 2021. doi: 10.1016/j.solener.2022.01.029.

MADAMBA, P. S. et al. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75–97, 1996. Available from: <[https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3)>. Accessed: Apr, 23, 2021. doi: 10.1016/0260-8774(95)00062-3.

MARQUARDT, D.W. An Algorithm for Least Squares Estimation of Parameters. **Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics**, v.11, p.431-441, 1963.

MARTINAZZO, A.P. et al. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim- limão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v.12, n.4, p.488–498, 2007.

MUGI, V. R., & CHANDRAMOHAN, V. P. Comparison of drying kinetics, thermal and performance parameters during drying guava slices in natural and forced convection indirect solar dryers. **Solar Energy**, v.234, p.319–329, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.02.012>>. Accessed: Jun, 30, 2022. doi: 10.1016/j.solener.2022.02.012.

NG, M. L. & SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**. v.88, p.80-86, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>>. Accessed: Mar, 4, 2022. doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.032.

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. Thesis Dissertation (M.Sc.) – **Purdue University**, Indiana. 1949.

PANCHARIYA, P. C. et al. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**. v.5, p.349–357, 2002. Available from:

<<https://doi.org/10.1016/jfe.2002.02.011>>. Accessed: Fev, 7, 2022. doi: 10.1016/jfe.2002.02.011.

PARK, K. J et al. Estudo de secagem de pera bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Food Science and Technology**, v.21, p.288–292, 2001. Available from: <<https://doi.org/10.1590/jfst.2001.0307>>. Accessed: Jan, 26, 2022. doi: 10.1590/jfst.2001.0307.

PESSOA, T. R. B. et al. Mathematical modeling and effective diffusivity of the drying process of the bract of macambira. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v.10, n.3, p.52-58, 2015. Available from: <<http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i3.3367>>. Accessed: Apr, 21, 2022. doi: 10.18378/rvads.v10i3.3367.

RURUSH, E. et al. Drying kinetics of blueberry pulp and mass transfer parameters: Effect of hot air and refractance window drying at different temperatures. **Journal of Food Engineering**. v.320, p.110-929, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110929>>. Accessed: Apr, 20, 2022. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110929.

SANGAMITHRA, A. et al. Foam-Mat Drying of Muskmelon. **International Journal Food Engineering**. v.11 (1), p.127–137, 2015.

SILVA, L. A. et al. Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana L.*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Campinas**, v.17, n.4, p.953-963, 2015. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/14_106>. Accessed: Fev, 24, 2020. doi: 10.1590/1983-084X/14_106.

SILVA, A. S. et al. Desidratação de polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1899-1905, 2008. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000600032>>. Accessed: Fev, 12, 2022. doi: 10.1590/S1413-70542008000600032.

SLANTAR, A. et al. HPLC-MSn identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris L. ssp. vulgaris*) parts and cultivars. **Journal of Food Science**. v.80, p.1952–1958, 2015. Available from: <<https://doi.org/10.1111/1750-3841.12977>>. Accessed: Mar, 12, 2022. doi: 10.1111/1750-3841.12977.

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

OSAMA, K. et al. Development of under-utilized kadam (*Neolamarkia cadamba*) powder using foam mat drying. **Food Science and Technology**, v.154, p.112-782, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112782>>. Accessed: Jun, 11, 2022. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112782.

ZHANG, Q. et al. Heat Pump Drying of Kelp (*Laminaria japonica*): Drying Kinetics and Thermodynamic Properties. **Processes** v.10, p.514, 2022. Available from: <<https://doi.org/10.3390/pr10030514>>. Accessed: Jun, 18, 2022. doi: 10.3390/pr10030514.

ZHANG, M. et al. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.57, n.6, p.1239–1255, 2017.

CAPÍTULO III

QUALIDADE E TOXICIDADE DO PÓ ROSA OBTIDO DAS BRÁCTEAS DA *BOUGAINVILLEA GLABRA*

Larissa Almeida Antunes¹, Carolina Nascimento Alves de Lima¹, Henrique Vieira de Mendonça², José Lucena Barbosa Junior¹; Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa¹

¹ Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil ² Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ.

E-mail: almeida.ufrrj@outlook.com. *Corresponding author.

RESUMO

As brácteas da *Bougainvillea glabra* são ricas em betalaínas e antioxidantes que auxiliam no tratamento de doenças provenientes de estresse oxidativo. A betalaína tem aplicação como corante natural e sua forma em pó tem sido utilizada através do método de secagem. No entanto, produtos de origem vegetal devem ser testados quanto à sua toxicidade para serem utilizados como corante em alimentos. A secagem afeta o produto final quanto às suas propriedades físico-químicas e sensoriais, e desta maneira, o presente estudo avaliou o impacto das temperaturas (40, 50 e 60 °C) na secagem das brácteas de *Bougainvillea glabra* em estufa com circulação de ar quente. O efeito das temperaturas na capacidade antioxidante, teor de compostos fenólicos e betalaínas foram medidos. Os resultados indicaram que o processo de secagem a 40 °C preservou melhor os compostos fenólicos, a capacidade antioxidante, medida pelos métodos DPPH e FRAP, e para as quantidades de betalaínas.

Palavras-chave: corantes naturais, físico-química, betalaínas, estabilidade, toxicidade.

ABSTRACT

Bougainvillea glabra bracts are rich in betalains and antioxidants that help in the treatment of diseases caused by oxidative stress. Betalain has application as a natural dye and its powder form has been used through the drying method. However, products of plant origin must be tested for their toxicity to be used as a food coloring. Drying affects the final product in terms of its physical-chemical and sensory properties, and in this way, the present study evaluated the impact of temperatures (40, 50 and 60 °C) on the drying of *Bougainvillea glabra* bracts in an oven with air circulation warm. The effect of temperatures on antioxidant capacity, content of phenolic compounds and betalains were measured. The results indicated that the drying process at 40 °C better preserved the phenolic compounds, the antioxidant capacity, measured by the DPPH and FRAP methods, and for the amounts of betalains.

Keywords: natural dyes, physico-chemistry, betalains, stability, toxicity.

1. INTRODUÇÃO

A *Bougainvillea glabra* é uma planta amplamente cultivada em todo o mundo, sendo nativa do leste da América do Sul, encontrada em diversos estados brasileiros, inclusive no Rio de Janeiro (RAHIMI *et al.*, 2018). No Brasil, é conhecida popularmente como *buganvile*, primavera ou três-marias e é chamada de flor de papel, devido às suas brácteas serem bastante finas (VICENT *et al.*, 2017). As brácteas apresentam-se em diversas cores como rosa, magenta, roxo, laranja, vermelho, branco, amarela e azul, e florescem durante todo o ano (TRIPATHI *et al.*, 2017; VARGAS-ABARCA & PETRICEVICH, 2018). Na medicina tradicional, a *B. glabra* tem sido utilizada para fins medicinais, com relatos de efeitos anti-inflamatórios (MARKANDAN *et al.*, 2016), antidiarreico, anti úlcera, anti microbiana e como agente anti-hiperglicêmico (EDWIN *et al.*, 2007). Além disso, as brácteas possuem compostos com ações antifúngicas e analgésicas (ALONSO-CASTRO *et al.*, 2006; EDWIN *et al.*, 2006) e compostos antioxidantes naturais com efeitos neuroprotetores, como fitol, tocoferol, quercetina e ácidos fenólicos (RANI *et al.*, 2012).

A buganvília apresenta o pigmento betalaína, que está presente na beterraba, pitaya, acelga e no figo-da-Índia ou figo-de-pita, com potencial para aplicação industrial como corante alimentar natural. As betalaínas apresentam propriedades de caráter antioxidante, antiproliferativo, cardioprotetor, antimicrobiano (GAUTAM *et al.*, 2016; RODRIGUEZ-AMAYA, D., 2019) anticarcinogênico, hipolipemiante, antidiabético, hepatoprotetor, anti-inflamatório, entre outras (HADIPOUR *et al.*, 2020); o que a torna uma provável molécula no tratamento de doenças com aspectos patológicos de estresse oxidativo (SLANTAR *et al.*, 2015).

A maioria dos pigmentos naturais apresenta menor estabilidade quando comparados aos corantes sintéticos. Em presença de luz e oxigênio, as betalaínas são instáveis e se degradam quando submetidas a temperaturas superiores à 40°C (GÜNESER, 2016). Outro fator importante que afeta a estabilidade das betalaínas é a atividade de água, e, por este motivo, elas têm maior estabilidade em alimentos com baixa umidade (SADOWSKA-BARTOSZ *et al.*, 2021). Desta maneira, a sua forma em pó tem sido utilizada como corante natural em produtos alimentícios através do método de secagem (OROIAN *et al.*, 2015).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto de diferentes temperaturas de secagem na capacidade antioxidante, teor de compostos fenólicos betalaínas nas brácteas de *B. glabra*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção e preparo das brácteas

As brácteas da *B. glabra* (GB) (Figura 6) foram obtidas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) localizada em Seropédica, Rio de Janeiro-RJ (22° 77' 52" S e 74° 39' 35" L). O material foi colhido manualmente e encaminhado ao Laboratório Multiusuário do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) para seleção, determinação do teor de umidade e realização da cinética de secagem em estufa com circulação forçada de ar.



Figura 1: Brácteas e flores da *B. glabra*.

Fonte: a própria autora.

Inicialmente as brácteas foram selecionadas e separadas manualmente dos galhos, espinhos, caules e de suas pequenas flores (Figura 1). Em seguida foram higienizadas durante 15 minutos com solução de hipoclorito de sódio (1 colher de chá) para 1 litro de água mineral (Figura 8).



Figura 2: brácteas da *Bougainvillea glabra* selecionadas e separadas.

Fonte: a própria autora.



Figura 3: brácteas da *Bougainvillea glabra* higienizadas.
Fonte: a própria autora.

2.2 Determinação da toxicidade das brácteas de *B. glabra in natura* (Artemia Reference Center ARC-test)

Os cistos de *Artemia salina L.* foram obtidos em loja de suprimentos para animais marinhos (Seropédica, RJ, Brasil).

As brácteas *in natura* de *B. glabra*, após higienizadas, isentas das flores brancas e pequenos galhos, foram submetidas a secagem natural à temperatura ambiente ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) por 72h sob ausência de luminosidade. Após a secagem foi realizada a moagem das mesmas em moinho analítico básico (modelo A 11, marca IKA) até a consistência de pó e depois foi realizado o peneiramento em peneira granulométrica inox (8x2 abertura, 0,075 mm malha e 200 mesh). O pó foi armazenado em tubo falcon na geladeira, com papel alumínio, até sua utilização para o ensaio toxicológico.

O teste foi dividido em 2 etapas: Cultivo da Artemia e Ensaio biológico toxicológico agudo. A primeira etapa consistiu na eclosão dos cistos de *Artemia salina L.*

(*Artemiidae*) em solução salina 3% p/v de cloreto de sódio em água mineral, preparada anteriormente, em um becker de 1000L (Figura 5). Em seguida, os cistos foram mantidos em condições de aeração constante, com bomba comercial de aquário e iluminação artificial fluorescente (10w) durante 48h a temperatura ($25 \pm 3^\circ\text{C}$).



Figura 5: Ensaio com os cistos de *Artemia salina L.* (*Artemiidae*) (solução salina 3% p/v de cloreto de sódio em água mineral), em becker de 1000L.

A *Spirulina* líquida (5 mL) foi utilizada como suplemento alimentar para as artêmias durante os estágios náuplios instar II (72 h de crescimento) e III (120 h de crescimento), sendo adicionada ao becker em dois dias, nas 24h e 48h iniciais do teste, com o auxílio de uma pipeta graduada de 10 mL.

A segunda etapa do teste consistiu no preparo do extrato aquoso do pó da *B. glabra*, no qual 1g do pó in natura foi submetido à extração com água destilada por 24 horas sob agitação em placa. A partir de 20 mL do extrato, foram preparadas soluções com concentrações de 250, 500, 1000, 1500 e 3000 ppm (mg/Kg) em triplicata. Em seguida, foram preparados dez tubos de ensaio de 10 mL, com diferentes concentrações de água salina, água mineral e extrato aquoso. Em cada tubo foi adicionada, com o auxílio de uma pipeta pasteur, uma suspensão de náuplios instar III contendo 10 organismos em

cada tubo. Como controle foi utilizado controle 10 mL de solução salina com 10 organismos, sem o extrato.

Os tubos foram mantidos sob iluminação constante durante 24h. Após este período, foi realizada a contagem das artemias mortas, em microplacas de petri, com o auxílio de um microscópio portátil digital. O cálculo da dose letal 50 (DL₅₀) foi utilizado para determinar a % de mortalidade das artemias, conforme a Equação 1 abaixo.

$$\% \text{ mortalidade} = (n^\circ \text{ de vivos} \times 100) \div (n^\circ \text{ de vivos do controle} \times 100)$$

Equação (1)

As figuras de 6 a 9 abaixo mostram os diferentes estágios do ciclo de vida do microcrustáceo.

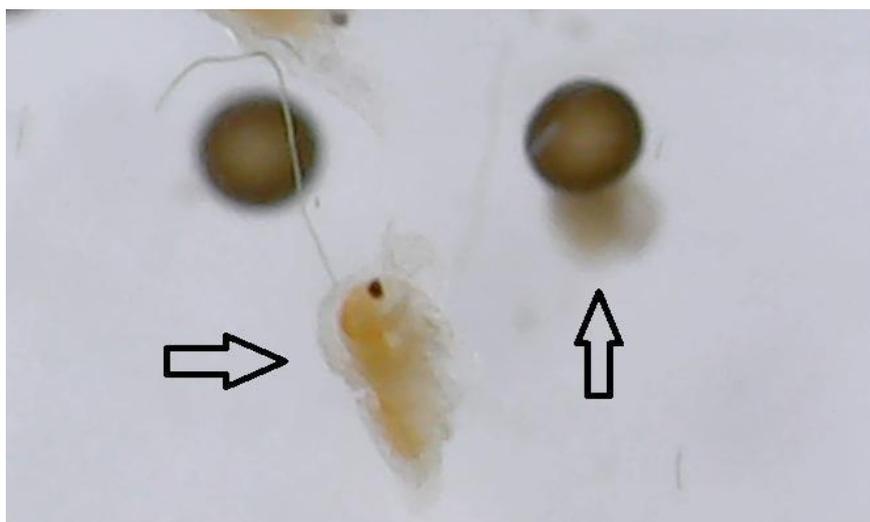


Figura 6: *Artemia salina L. (Artemiidae)* na fase náuplio instar II e cisto em eclosão.
Fonte: A própria autora.

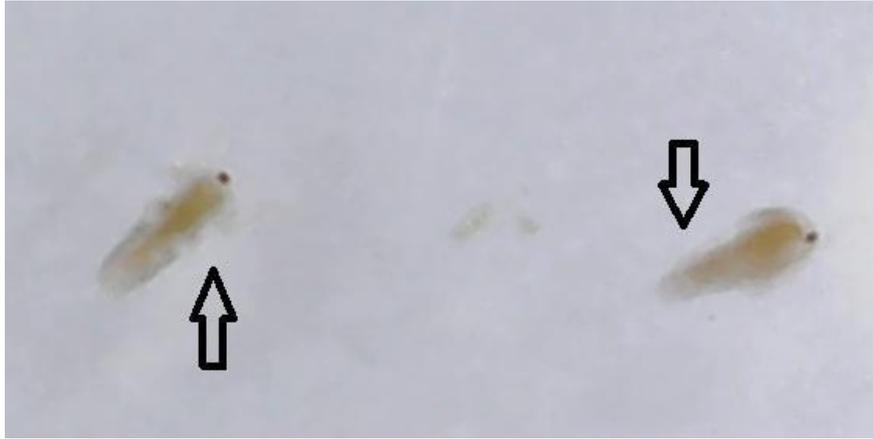


Figura 7: *Artemia salina L. (Artemiidae)* na fase náuplio instar II. Fonte: a própria autora.

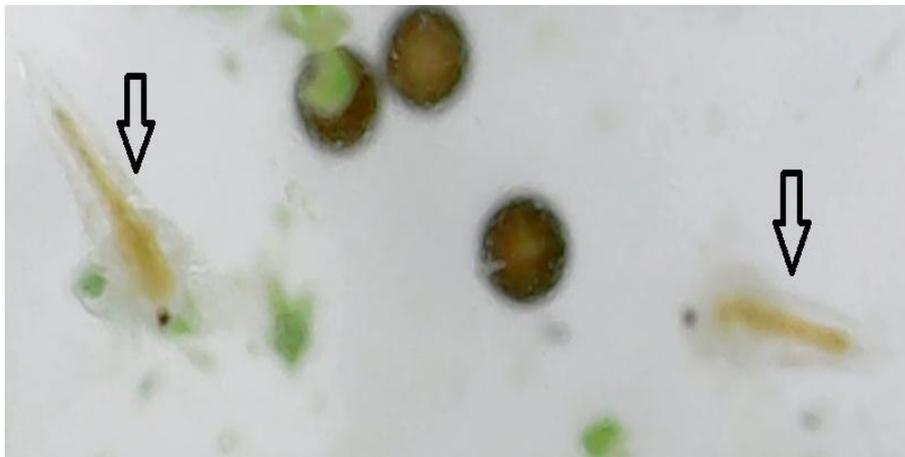


Figura 8: *Artemia salina L. (Artemiidae)* na fase náuplio instar III. Fonte: a própria autora.



Figura 9: *Artemia salina L. (Artemiidae)* na fase adulta com cistos internos. Fonte: A própria autora.

2.3 Qualidade dos pós de brácteas estudados

2.3.1 Obtenção dos extratos

O pós das brácteas de *B. glabra* obtidos por secagem convencional a 40 °C, 50 °C e 60 °C (SC₄₀, SC₅₀ e SC₆₀) e o obtido por secagem em espuma a 50 °C (SE₅₀) foram submetido à extração com diferentes solventes de acordo com KUHN *et al.* (2021) com algumas modificações na quantidade de pó e de solvente. Os extratos de cada pó seco em diferentes temperaturas (SC₄₀, SC₅₀, SC₆₀ e SE₅₀) foram preparados a partir de 10 mg de cada pó, utilizando 50 mL das seguintes soluções: etanol:água 75:25 v/v; metanol:água 75:25 v/v e água pura. A extração foi realizada sob agitação mecânica (3500 rpm) e ao abrigo da luz durante 1 hora, sendo as soluções resultantes posteriormente filtradas em funil com auxílio de papel filtro e os respectivos filtrados armazenados em um balões volumétricos (100 mL) vedados hermeticamente sob ausência de luz e mantidos sob refrigeração a 4 °C até a realização dos ensaios de fenólicos e da capacidade antioxidante.

Em seguida foram utilizados nas análises de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante.

2.3.2 Teor de umidade das brácteas

Para determinação do teor de umidade das brácteas, foi realizado o método de secagem estufa, onde as brácteas *in natura* foram secas à 105 °C por 24h (AOAC 1990). Inicialmente foram preparados cadinhos de papel alumínio com dimensões de 6x6 cm, em triplicata. Os cadinhos foram tarados e adicionados de 2g de massa úmida das brácteas (Figura 6). O teor de umidade em base úmida (bu %) foi obtido pelo uso da Equação 1 abaixo, onde a massa de água corresponde à diferença entre a massa inicial (mi) da amostra úmida e a massa da amostra seca.

$$M (b.u) = \left(\frac{m_{H_2O}}{m_i} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$



Figura 10: Massa úmida das brácteas em cadinhos de alumínio.

2.3.2 Determinação dos compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais nos pós estudados foram determinados de acordo com Swain e Hillis (1959), com modificações. Adicionou-se 1 mL do de extrato, 10 mL de água destilada, 1 mL de reagente Folin Ciocalteau 0,25 N e 1,5 mL de Na₂CO₃ a 10%, seguido de homogeneização. A solução foi armazenada à temperatura ambiente no escuro por 2h, e a absorvância foi medida em 725 nm usando espectrofotômetro (Modelo NOVA 2000 UV). Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico por g de amostra seca (mg EAG/g da amostra seca).

2.3.3 Determinação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada pelo método DPPH e FRAP, de acordo com o procedimento descrito por RUFINO *et al.* (2010), com modificações. Para a análise de DPPH, os extratos (150 µL) foram reagidos com 2,85 mL de uma solução metanólica de DPPH (0,06 mM) por 1h no escuro. A absorvância foi então lida usando um espectrofotômetro (Modelo NOVA 2000 UV) em um comprimento de onda de 517 nm.

O Trolox foi utilizado como referência para a construção da curva de calibração, e os resultados foram expressos em μg de Trolox equivalente por grama de amostra. Na análise de FRAP, foi diluída uma alíquota de 90 μL de extrato em 270 μL de água destilada e adicionou-se 2,7 mL do reagente FRAP previamente preparado. Em seguida, foi homogeneizado em um tubo vedado e levou a banho de água a 37 °C durante 30 minutos, resfriou-se e a leitura foi realizada a 595 nm, utilizando reagente de FRAP como branco para calibrar o espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de Trolox por g de amostra.

2.3.4 Quantificação de betalainas

O teor de betalaina dos pós das brácteas de *B. glabra* (SC_{40} , SC_{50} , SC_{60} e SE_{50}) foi determinado através de espectrofotometria, adaptado de acordo com Kumar e colaboradores (2017) e Bárta e colaboradores (2020), com modificações na obtenção dos extratos.

No preparo dos extratos, foram pesados 2 g de cada pó das brácteas da *B. glabra* e maceradas com 5 mL de água destilada para o extrato aquoso, e com 30 mL de cada solução extrator (metanol:água 75%; etanol:água 75%) em Erlenmeyer de 250 mL, em triplica (Figura 7).



Figura 11: Extrato das brácteas em Erlenmeyer de 250 mL.

Em seguida, os Erlenmeyer foram colocados no shaker por 6h em agitação à 22,5 °C (Figura 8). Após agitação, 10 mL da amostra homogeneizada foram colocados em tubos falcon para centrifugação à 3.500 RPM por 10 min (Figura 12). O precipitado foi coletado e levado para leitura no espectrofotômetro à 538 nm, com intervalo entre 0,2 e 0,8 de absorbância.

As soluções foram colocadas nos Erlenmeyers e centrifugadas em centrífuga refrigerada (modelo ST 40 R, SORVALL) a 4 °C, com rotação de 15.000 rpm, durante 40 minutos (Figura 8).



Figura 12: Erlenmeyer no shaker por 6h em agitação à 22,5 °C.

A leitura dos extratos foi realizada em espectrofotômetro SP 22 UV visível, com absorbâncias medidas no comprimento de onda de 538 nm. Os resultados foram expressos em teor de betalaína (g/100g) de acordo com Equação 2:

$$\text{Betalaína} \left(\frac{g}{100g} \right) = (A * DF * MM) * 1000 \div E * L \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

A = leitura de cada absorbância no espectro;

DF = fator de diluição (1000);

MM = massa molar da betalaína (550 g/mol);

E = absorvidade molar (60.000 L/mol x cm de H₂O);

L = comprimento do percurso da luz (1 cm).

2.3.5 Análise de Cor

A análise de cor dos pós foi realizada no colorímetro MiniScan EZ, modelo MSEZ-4500L (Jarinu, SP). Os parâmetros a^* , b^* e L^* foram medidos, onde:

$L^* = 100$ (branco);

a^* ($-a^*$ = verde e $+a^*$ = vermelho);

b^* ($-b^*$ = azul e $+b^*$ = amarelo);

e a fonte de luz como D65.

A diferença total de cor (ΔE^*) foi calculada de acordo com a equação 3 abaixo:

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

Onde: ΔL^* , Δa^* , Δb^* foram as diferenças de cor entre as amostras.

Os outros parâmetros, chroma (Cab^*) e hue (hab), foram calculados seguindo as equações 4 e 5:

$$Cab^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad \text{Equação (4)}$$

$$hab = \arctan (b^* \div a^*) \quad \text{Equação (5)}$$

Neste espaço de cor, L^* indica luminosidade, com valor máximo de 100, e uma perfeita reflexão difusa, enquanto que o valor mínimo é zero e constitui o preto. C^* representa a saturação, cujo valor representa a distância do eixo de luminosidade (L^*) e inicia em zero no centro. O ângulo de tonalidade começa no eixo $+a^*$, e se movimenta em sentido anti-horário. O ângulo de matiz (hab) indica a cor observável e é definido como iniciando no eixo $+a^*$, em graus, em que 0° é $+a^*$ (vermelho), 90° é $+b^*$ (amarelo), 180° é $-a^*$ (verde), e 270° é $-b^*$ (azul).

2.3.6 Cinética de degradação no extrato aquoso de *B. glabra* em sistema-modelo

A cinética de degradação foi realizada em diferentes temperaturas (50, 60, 70, 80 e 90°C) no extrato aquoso de *B. glabra*. A taxa de degradação observada (kobs), a partir da primeira derivada das curvas traçadas (Equação 6). O tempo de meia $t(12)(\text{min})$ (Equação 7) foi calculado para a decomposição de betalaína em meio aquoso tamponado (tampão fosfato 10 mmol/L), de acordo com Von Elbe *et al.* (1974).

Todos os ensaios de aquecimento foram realizados em triplicata. Os valores teores de betalaínas foram monitorados em cada temperatura (50, 60, 70, 80 e 90°C) onde uma alíquota de cada amostra foi coletada a cada 20 minutos até 180 minutos. Os dados de absorvância das amostras foram coletados a cada instante (20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 minutos) nas diferentes temperaturas (GUNESER, 2016).

Os valores obtidos foram comparados com os valores do tempo zero e, através do teste de t-Student, foi possível verificar a variância da cor com o tempo, usando um espectrofotômetro de varredura (WUV-M51, WebLaborSP, Brasil).

A Equação 6 abaixo foi utilizada para determinar a constante de taxa de degradação (k), utilizando modelo de primeira ordem após análise de regressão linear.

$$C \text{ (mg/100g)} = C_0 X \exp(-k \cdot t) \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

C_0 = teor inicial de betalaínas

C = teor de betalaínas após um período de aquecimento a uma determinada temperatura;

k = constante cinética de degradação.

O tempo de meia-vida $t_{(12)} \text{ (min)}$ foi calculado pela Equação 7 abaixo.

$$t_{(12)} \text{ (min)} = \frac{-\ln(0,5)}{k} \quad \text{Equação (7)}$$

Para determinar os efeitos da temperatura na cinética de degradação betalaína, as constantes obtidas foram ajustadas usando as equações de Arrhenius (Equação 8) (HSU *et al.*, 2012).

$$k = Ae^{\frac{-Ea}{RT}}$$

$$\ln de (k) = \ln de (Ae^{\frac{-Ea}{RT}}) \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

Ae é a energia de ativação (kJ/mol);

R é a constante universal do gás (8,314 J/mol K);

T é a temperatura absoluta (K).

Os dados experimentais foram avaliados pelo teste de análise de variância (ANOVA) e o teste de diferenças entre as médias, teste Tukey, com o nível de

significância de 95%. O software utilizado foi Statistica® 7.0 para Windows (Statistica 7.0, Stat Soft).

2.3.6 Cinética de degradação em diferentes pH's

A cinética de degradação foi realizada em diferentes pHs (3, 5 e 7) (HUANG, A. S. et al, 1987) no extrato aquoso de *B. glabra*. Foi determinada a constante cinética da taxa de degradação observada (k_{obs}), a partir da primeira derivada das curvas traçadas (Equação 6). O tempo de meia $t(\frac{1}{2})$ (*min*) (Equação 7) foi calculado para a decomposição de betalaína em meio aquoso tamponado (tampão fosfato 10 mmol/L), de acordo com Von Elbe *et al.* (1974).

Foram preparadas soluções tampão de 10 mmol/L de fosfato dibásico e 200 mmol/L de cloreto de sódio, utilizando-se de HCl ou NaOH (1,0 mol/L) para se atingir o pH desejado. Alíquotas (4 mL) do extrato aquoso de *B. glabra* foram colocadas em tubos de ensaio de 10 mL, em triplicada, e incubadas a 50°C no escuro em banho-maria com agitação a 150 rpm. As soluções contendo extrato aquoso de *B. glabra* (10% p/v) foram preparadas em tampão em pH 3, 5 e 7.

As amostras foram retiradas a cada 20 minutos e imediatamente resfriadas a 20°C, durante 120 minutos. O teor de betalaína foi medido em cada ponto de tempo no comprimento de onda de 538 nm. Os dados de absorbância das amostras coletadas a cada instante (20, 40, 60, 80, 100 e 120 minutos) foram comparados com os valores do tempo zero, para verificar a variância da cor com o tempo usando um espectrofotômetro de varredura (WUV-M51, WebLaborSP, Brasil). Todos os ensaios foram realizados em triplicata e foi utilizado o teste de t-Student

A concentração de betalaínas (% de betalaínas residuais) foi plotada em função do tempo (h) e uma análise de regressão linear foi usada para determinar a adequação do modelo cinético de degradação de betalaínas. Os valores de k_{obs} e o tempo de meia-vida $t_{1/2}$ foram calculados pela Equação 7 para a decomposição de betalaína em meio aquoso, a 50 °C em diferentes pH.

2.3.7 Solubilidade das brácteas em diferentes temperaturas

Para determinação da solubilidade das brácteas de *B. glabra*, utilizou-se a metodologia descrita por Kusumayanti *et al.*, 2015 com modificações.

Foi adicionado, em triplicata, em tubos de centrífuga de 10 mL, previamente tarados, 0,1 g dos pós obtidos nos diferentes processos de secagem (pós secos à 40 °C, 50 °C, 60 °C e 50 °C espuma). Em seguida foi adicionado aos tubos 10 mL de água destilada. Os tubos, contendo o pó e a água, foram homogeneizados em vórtex e em seguida levados ao banho maria, nas 6 temperaturas de solubilidade (25 °C, 50 °C, 60 °C) durante 30 minutos, sem agitação. Após o banho maria, os tubos foram levados à centrífuga a 3.000 RPM por 20 minutos. Os sobrenadantes foram coletados e dispostos em placas de Petri e levados à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, até a secagem completa da amostra. O índice de solubilidade foi calculado, em porcentagem, pela Equação 9:

$$WSI (\%) = (W_d / W_s) \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

W_d - peso do sobrenadante seco (g, base seca)

W_s - peso amostral do pó (g)

2.3.8. Índice de absorção de água (IAA) e índice de absorção de óleo (IAO) das brácteas

Para a análise de índice de absorção de água e índice de absorção de óleo das brácteas de *B. glabra*, utilizou-se a metodologia descrita por Sharma *et al.*, (2011), com modificações.

Inicialmente foi adicionado, em triplicata, em tubos de centrífuga de 10 mL, previamente tarados, 0,25 g dos pós obtidos nos diferentes processos de secagem (pós secos à 40 °C, 50 °C, 60 °C e 50 °C espuma). Em seguida foi adicionado aos tubos 5 mL de água destilada, para o IAA, e 5 mL de óleo de milho, para o IAO. Os tubos, contendo a mistura do pó e água, e do pó e óleo, foram homogeneizados em vórtex e em seguida levados ao agitador magnético à 100 RPM por 30 minutos. Após a agitação, os tubos foram levados para a centrífuga a 3.000 RPM por 20 minutos. Os sobrenadantes foram removidos e os tubos, sem o sobrenadante, contendo apenas as amostras com a solução aquosa (IAA) e a solução oleosa (IAO), foram pesados. Os índices de absorção de água (IAA) e absorção de óleo (IAO) das brácteas de *B. glabra* foram calculados de acordo com as Equações 10 e 11, respectivamente.

$$\text{IAA (g precipitado/g de matéria seca)} = \frac{W_c - W_v}{W_s} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

W_c - tubo com pó + água destilada (g)

W_v - tubo vazio (g)

W_s - tudo sem sobrenadante (g)

$$\text{IAO (g/g)} = (\text{Wc} - \text{Wv}) / \text{Ws} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

Wc - tubo com pó + óleo de milho (g)

Wv - tubo vazio (g)

Ws - tudo sem sobrenadante (g)

2.3.9. Caracterização da espuma

A caracterização da espuma foi avaliada de acordo com sua estabilidade. As análises foram realizadas em triplicata. Foram utilizados 15 gramas de espuma, onde foram colocadas em uma tela de aço inox, apoiada sobre um béquer, a temperatura ambiente (25 °C), (MARINOVA *et al.*, 2009), conforme demonstrado na Figura 13 abaixo.



Figura 13: espuma das brácteas no béquer para análise de estabilidade

Durante 2 horas, a cada 30 minutos, foi registrada a massa de espuma coalescida depositada no béquer e então, a estabilidade da espuma (E%) foi calculada pela equação 13 (BAPTISTA, 2002):

$$E\% = 100 * [(Mt - Mc) / Mt] \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

Mc - massa coalescida

Mt - massa total da espuma

2.4. Análise estatística

Os valores de média, desvio padrão, análise de variância, dados estatísticos do coeficiente de determinação (R^2), do erro quadrático médio (RMSE), as quantidades de compostos fenólicos, FRAP, DPPH e betalaínas, valores dos parâmetros da modelagem matemática da cinética de secagem das brácteas de *B. glabra*, bem como valores encontrados para solubilidade, IAA e IAO, foram obtidos utilizando o programa Statistica® 7.0 para Windows (Statistica 7.0, Stat Soft), com 5% de significância.

Os valores de tempo de meia vida foram calculados com auxílio do software Statistica® 7.0 para Windows (Statistica 7.0, Stat Soft), com 5% de significância.

Para melhor avaliar os modelos matemáticos não lineares, foi empregado o erro relativo médio (E), conforme Equação 14:

$$E(\%) = \frac{100}{N} \sum_i^N \frac{Y - \bar{Y}}{\bar{Y}} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde: Y= valor experimental e N= pontos de dados experimentais.

A análise estatística dos pontos de secagem foi realizada por meio do teste qui-quadrado para verificar a existência de diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores dos pontos, utilizando o programa Statistica® 7.0 para Windows (Statistica 7.0, Stat Soft).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação da toxicidade das brácteas de *B. glabra* in natura (Artemia Reference Center ARC-test)

As brácteas in natura de *B. glabra* apresentaram aumento do % DL₅₀ em função da concentração dos extratos estudados (Tabela 2).

Tabela 1: Toxicidade do pó in natura das brácteas de *B. glabra* frente a *A. salina*.

Testes (T)	H ₂ O mineral (mL)	H ₂ O salina (mL)	µg/mL mg/L (ppm)	n° % de <i>A. salina</i> mortas	n° de <i>A. salina</i> vivas	(%) DL ₅₀
<i>Controle</i>	0	10	0	0	10	0
T1	2	8	250	3	7	30
T2	4	6	500	9	1	90
T3	6	4	1000	10	0	100
T4	8	2	1500	10	0	100

Onde:

T1: amostra 1 [250ppm];

T2: amostra 2 [500ppm];

T3: amostra 3 [1000ppm];

T4: amostra 4 [1500ppm];

DL₅₀: dose letal para mortalidade de 50%.

A dose letal (DL₅₀) calculada para as brácteas *in natura* de *B. glabra* frente à *Artemia salina* L. foi 303,09 µg/mL com erro médio estimado em 0,9736. Desta maneira, para que o pó do corante rosa natural seja utilizado para consumo humano, sem danos letais, é necessário que se faça o uso do mesmo em concentrações abaixo de 303,09 µg/mL.

A relação entre o grau de toxicidade e a dose letal média (DL₅₀) apresentada por extratos de plantas medicinais sobre os náuplios de *A. salina* foi avaliada por Amarante *et al.* (2011). Os autores reportaram que quando a DL₅₀ for maior do que 1000 µg/mL, o extrato é considerado atóxico, entre 500 e 1000 µg/mL apresenta baixa toxicidade, entre 100 e 500 µg/mL moderada toxicidade e menor que 100 µg/mL, alta toxicidade. Sendo assim, de acordo com a classificação de Amarante *et al.* (2011), o extrato de *B. glabra in natura* do presente estudo pode ser considerado de toxicidade moderada.

Estudos anteriores utilizaram *Artemia salina* para determinação de toxicidade em extratos vegetais. A pesquisa realizada por Senigalia *et al.* (2020) avaliou toxicidade de extratos vegetais de plantas do cerrado de uso medicinal e concluíram que a DL₅₀ para a casca de aroeira foi de 263,10 µg/mL e de, acordo com Amarante *et al.* (2011), apresenta moderada toxicidade. Este valor é próximo ao valor encontrado para o pó das brácteas de BG, conferindo moderada toxicidade também para este extrato vegetal. Nesta mesma pesquisa de Senigalia e colaboradores (2020), a DL₅₀ para o extrato aquoso das cascas de jatobá foi de 1050,22 µg/mL, logo esse extrato aquoso é considerado atóxico, visto o valor da dose letal ser bem mais elevado que o encontrado para as brácteas.

Luna *et al.* (2004) avaliaram extratos etanólicos de plantas, dentre elas o extrato proveniente da casca de *Anadenanthera macrocarpa* e verificaram uma taxa de mortalidade de 80% das artemias utilizadas no bioensaio quando utilizaram extratos com concentrações maiores de 500 ppm. O etanol tem um poder extrator muito maior que o da água, por isso, nesse experimento, a taxa de mortalidade tenha sido elevada.

Cavalcante *et al.* (2016) demonstraram a toxicidade do extrato etanólico das folhas de *M. urundeuva* nas concentrações de 100 e 1000 µg/mL, sendo este capaz de causar a

morte de mais de 70% de larvas de *A. salina*. A DL_{50} , segundo os autores, foi de 20,38 $\mu\text{g/mL}$ sendo de alta toxicidade.

3.2 Análises físico-químicas dos extratos

Tabela 2: código dos extratos obtidos.

Extratos	40 °C	50 °C	60 °C	50 °C espuma
Metanol 75%	MET 40 °C	MET 50 °C	MET 60 °C	MET 50 °C espuma
Etanol 75%	ET 40 °C	ET 50 °C	ET 60 °C	ET 50 °C espuma
Água	ÁGUA 40 °C	ÁGUA 50 °C	ÁGUA 60 °C	ÁGUA 50 °C espuma

Onde: MET – metanol, ET – etanol.

Nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 estão apresentados os resultados de análises de teores de compostos fenólicos, capacidade antioxidante pelos métodos de FRAP e DPPH e os resultados dos teores de betalaína no pó das brácteas da *B. glabra* em extratos com diferentes solventes.

Tabela 3: Resultados de compostos fenólicos nos extratos de BG (secagem convencional e espuma).

Extrato aquoso	Fenólicos (mg EAG/100g amostra)
IN	35,12 ^c \pm 0,07
40 °C	50,85 ⁱ \pm 0,33
50 °C	35,3 ^b \pm 0,07
60 °C	15,73 ^l \pm 0,23
50 °C espuma	41,19 ^g \pm 0,11
Extrato etanólico 75%	Fenólicos (mg EAG/100 g amostra)
IN	47,81 ^d \pm 0,07

40 °C	56,07 ^h ± 0,39
50 °C	52,67 ^a ± 0,23
60 °C	13,70 ^j ± 0,04
50 °C espuma	40,63 ^e ± 0,08
Extrato metanólico 75%	Fenólicos (mg EAG/100 g amostra)
IN	47,74 ^c ± 0,07
40 °C	41,31 ^g ± 0,15
50 °C	22,75 ^b ± 0,04
60 °C	18,00 ^k ± 0,19
50 °C espuma	40,30 ^f ± 0,09

Onde: IN – in natural, EAG – ácido gálico equivalente. a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, l e k expressos em mg de ácido gálico/100 g de amostra. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05).

De acordo com os resultados acima, a quantidade mais significativa (p < 0,05) de compostos fenólicos foi obtida a partir da bráctea seca a 40 °C, em todos os solventes, devido ao processo de secagem em baixa temperatura, que facilitou sua extração e concentração com a perda de água na matéria-prima sem que afetasse tanto quanto a secagem e temperatura maior (50 °C e 60 °C). Este fato pode ser observado nos valores de compostos fenólicos obtidos na temperatura de 60 °C, que foram inferiores aos valores obtidos nas secagens de 50 °C e 40 °C. Ainda, o método de extração que foi mais eficaz para extrair os fenólicos das brácteas foi com o extrato etanólico do pó obtido a 40 °C (56,07^h ± 0,39 mg EAG/100g amostra), que apresentou diferenças significativas para o segundo melhor extrato, o extrato etanólico a 50 °C (52,67^a ± 0,23 mg EAG/100g amostra). O extrato que apresentou menor resultado para fenólicos foi o extrato etanólico a 60 °C (13,70^j ± 0,04 mg EAG/100g amostra).

Na pesquisa realizada por Li-chen *et al.* (2006), onde a pitaya vermelha foi estudada *in natura*, os autores identificaram 42,4 ± 0,04 mg de equivalentes de ácido

gálico (EAG)/100 g de peso fresco da polpa, e na casca obtiveram $39,7 \pm 5,39$ mg de GAE/100 g de peso fresco da casca. Isto demonstra que, de acordo com os resultados deste presente estudo, quando as brácteas *in natura* foram submetidas à análise de compostos fenólicos, os resultados foram semelhantes e superiores, com valores $56,07 \pm 0,07$ (mg GAE/100 g amostra) para o extrato etanólico à 40 °C. Já no estudo realizado por Pintathong *et al.* (2012), os autores avaliaram os resultados de compostos fenólicos presentes nos extratos de *Bougainvillea spp.* O valor do conteúdo fenólico extraível dos extratos de flores de papel, de acordo com os autores, estava na faixa de 1,73 e 21,78 mg de equivalente de ácido gálico por 100 gramas de peso seco.

Este resultado encontrado pelos pesquisadores é próximo do valor encontrado neste presente estudo, quando a análise de compostos fenólicos foi realizada no extrato metanólico, com o valor de $22,75 \pm 0,04$ (mg EAG/100 g amostra) para as brácteas de *Bougainvillea glabra*, secas a 50 °C e também para o mesmo extrato metanólico seco à 60 °C com valores de $18,00 \pm 0,19$ (mg EAG/100 g amostra). Ainda, neste presente estudo, os extratos etanólico e aquoso, das brácteas da *Bougainvillea glabra*, secos à 60 °C obtiveram valores para a análise de compostos fenólicos de $13,70 \pm 0,04$ (mg EAG/100 g amostra) e $15,73 \pm 0,23$ (mg GAE/100 g amostra), respectivamente.

Abaixo, na tabela 3 estão os resultados de capacidade antioxidante, pelo método FRAP, dos extratos.

Tabela 4: Resultados de capacidade antioxidante pelo método FRAP nos extratos de *B. glabra* (secagem convencional e espuma).

Extrato aquoso	FRAP (mg trolox/g de amostra)
IN	$746,14^f \pm 3,48$

40 °C	300,86 ^h ± 1,47
50 °C	283,86 ^a ± 0,34
60 °C	265,82 ^k ± 0,96
50 °C espuma	265,81 ^a ± 0,95
Extrato etanólico 75%	FRAP (mg trolox/g de amostra)
IN	422,07 ^d ± 0,96
40 °C	361,30 ^g ± 1,67
50 °C	263,25 ^e ± 2,43
60 °C	209,56 ⁱ ± 0,56
50 °C espuma	249,74 ^a ± 3,38
Extrato metanólico 75%	FRAP (mg trolox/g de amostra)
IN	311,47 ^c ± 0,56
40 °C	245,24 ^a ± 2,43
50 °C	215,02 ^b ± 0,56
60 °C	159,72 ^j ± 0,96
50 °C espuma	213,78 ^b ± 0,37

Onde: IN – in natural. ^{a, b, c, d, e, f, g, k, j} Expressos em mg de equivalente Trolox/g de amostra. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05).

Tabela 5: Resultados de capacidade antioxidante, pelo método DPPH, nos extratos de *B. glabra* (secagem convencional e espuma).

Extrato aquoso	DPPH (mg trolox/g de amostra)
-----------------------	--------------------------------------

IN	794,75 ^e ± 5,56
40 °C	881,69 ^f ± 4,96
50 °C	79,22 ^a ± 6,24
60 °C	287,55 ⁱ ± 3,21
50 °C espuma	90,02 ^a ± 2,36
Extrato etanólico 75% DPPH (mg trolox/g de amostra)	
IN	915,12 ^b ± 3,09
40 °C	916,20 ^b ± 5,27
50 °C	84,36 ^a ± 3,21
60 °C	386,83 ^g ± 5,42
50 °C espuma	102,37 ^a ± 1,78
Extrato metanólico 75% DPPH (mg trolox/g de amostra)	
IN	764,92 ^c ± 4,71
40 °C	665,64 ^e ± 3,88
50 °C	111,11 ^{ad} ± 4,08
60 °C	542,70 ^h ± 5,84
50 °C espuma	118,65 ^d ± 3,91

Onde: IN – in natural. ^{a, b, c, d, e, f, g, k, j} Expressos em mg de equivalente Trolox/g de amostra. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05).

Para os resultados da análise de capacidade antioxidante, realizada pelos métodos FRAP e DPPH, de acordo com os valores obtidos neste estudo, o extrato com maior resultado para FRAP foi o aquoso in natura, o qual obteve-se 746,14^f ± 3,48 (mg trolox/g de amostra). Este extrato aquoso pode ter apresentado melhores resultados no método de FRAP, quando comparado com os resultados dos outros extratos, devido à reação com o ferro. Já para a análise de DPPH, o melhor resultado foi expresso com uso do solvente etanol com o pó in natura, o qual obteve 915,12^b ± 3,09 (mg trolox/g de amostra), isto pode ser explicado pela afinidade do radical DPPH, que é preparado na análise utilizando o metanol, com o solvente da análise de antioxidante.

Pelo processo de secagem não ter ocorrido nas amostra *in natura*, desta forma o pó *in natura* apresenta mais antioxidantes do que as amostras secas às temperaturas de 40, 50 e 60 °C, devido à degradação de tais compostos pela secagem, a qual não ocasionou degradação dos antioxidantes presentes nos pós (EMBRAPA, 2010).

Fitoquímicos antioxidantes nas folhas da *Bougainvillea spectabilis* foram avaliado pelos métodos de DPPH e FRAP, por Venkatachalam & Muthukrishnan (2012). Os autores reportaram para o extrato metanólico das folhas foi de 226.66 ± 2.5 (mg trolox/g de amostra) e 27.83 ± 1.52 (mg trolox/g de amostra), respectivamente para DPPH e FRAP.

Com base nos resultados deste presente estudo, os maiores valores encontrados para a análise de DPPH foi no extrato etanólico à 40 °C, com $916,20 \pm 5,27$ mg trolox/g de amostra, e para a análise de FRAP, o maior valor encontrado foi no extrato aquoso in natura $746,14 \pm 3,48$ mg trolox/g de amostra. Desta maneira, pode-se dizer que a espécie *Bougainvillea glabra* parece ter potencial antioxidante, em sua forma de pó, para o tratamento de doenças relacionadas ao estresse oxidativo. No entanto, esta espécie deve ser explorada como uma planta medicinal funcional a fim de se obter alimentos funcionais a partir da secagem de suas brácteas para seu uso como um pó funcional.

Tabela 6: Teor de betalaínas em pó de brácteas de *B. glabra* obtidas por secagem convencional e espuma.

Extrato aquoso	Betalaína (g/100g)
IN	$23,25^{bc} \pm 0,002$
40 °C	$71,76^i \pm 0,006$
50 °C	$22,69^b \pm 0,003$
60 °C	$16,28^k \pm 0,005$

50 °C espuma	19,78 ^f ± 0,001
Extrato etanólico 75%	Betalaina (g/100g)
IN	14,63 ^c ± 0,001
40 °C	33,78 ^g ± 0,008
50 °C	26,39 ^a ± 0,003
60 °C	18,37 ^f ± 0,018
50 °C espuma	24,45 ^e ± 0,001
Extrato metanólico 75%	Betalaina (g/100g)
IN	12,10 ^d ± 0,002
40 °C	28,79 ^h ± 0,003
50 °C	21,45 ^b ± 0,004
60 °C	18,15 ^f ± 0,003
50 °C espuma	19,68 ^f ± 0,002

Onde: IN – in natural. ^{a, b, c, d, e, f, g, k, j}. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em relação ao teor de betalaína (Tabela 5) presente nos diferentes extratos dos pós secos à 40, 50 e 60 °C, esta pesquisa demonstrou que o melhor resultado de teor deste pigmento natural foi encontrado no extrato aquoso na temperatura de 40 °C, com valor de 71,76ⁱ ± 0,06 g/100g de amostra.

Isso explica que não é necessário realizar a secagem das brácteas em altas temperaturas, onde, utilizando temperatura de 40 °C é possível extrair os compostos fenólicos de interesse, bem como manter os teores de betalaína no pó, para que o mesmo seja um pó com potencial de ação antioxidante e de coloração rosa, para aplicação em alimentos.

Este resultado, quando comparado com a pesquisa realizada por Lemos *et al.* (2019) demonstra-se promissor, com quantidades de betalaína significativa, pois, os resultados encontrados por Lemos e colaboradores, quando foi realizado o estudo em chips de beterraba e em beterraba in natura, foram de $262,53 \pm 5,08$ mg/100g e $31,42 \pm 0,66$ mg/100g, respectivamente.

Já no estudo realizado por Meireles *et al.* (2020), onde extratos de beterraba foram analisados frente a capacidade antioxidante em mortadela de frango, foi quantificado seu teor de betalaínas. Os autores relataram valores de betalaína, quando o extrato de beterraba, seco também à 40 °C, com 153,14 mg/L de betalaínas e 99,1 mg EAG/g de compostos fenólicos.

3.3 Análise de Cor

Tabela 7: resultados dos parâmetros na análise de cor.

<i>Amostra</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C*</i>	ΔE^*	<i>hab</i>	<i>Cor</i>
pó 40°C	19,18 ^a ± 0,3	22,54 ^a ± 0,2	1,23 ^a ± 0,1	256,10 ^a ± 0,3	29,62 ^a ± 0,1	3,10 ^{oa}	Rosa intenso
pó 50°C	27,31 ^b ± 0,1	15,05 ^b ± 0,3	3,87 ^b ± 0,2	120,87 ^b ± 0,4	31,43 ^b ± 0,3	14,42 ^{ob}	Rosa médio
pó 60°C	36,47 ^c ± 0,4	6,59 ^c ± 0,1	8,38 ^c ± 0,4	57,23 ^c ± 0,1	37,99 ^c ± 0,3	51,74 ^{oc}	Rosa claro
pó 50°C espuma	28,46 ^b ± 0,2	10,19 ^d ± 0,1	5,55 ^b ± 0,3	67,05 ^c ± 0,1	30,73 ^b ± 0,4	28,45 ^{ob}	Rosa médio

Onde: L representa a luminosidade com valor máximo de 100, indicando cor branca e valor mínimo de 0, indicando a cor preta. C* representa a saturação, cujo valor representa a distância do eixo de luminosidade (L*) e inicia em zero no centro. O ângulo de tonalidade começa no eixo +a*, e se movimenta em sentido anti-horário. O ângulo de matiz (hab) indica a cor observável e é definido como iniciando no eixo +a*, em graus, em que 0° é +a* (vermelho), 90° é +b* (amarelo), 180° é -a* (verde), e 270° é -b* (azul).

Médias com letras diferentes na mesma coluna indicam valores significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Os resultados da análise de cor indicam que, para o parâmetro L (intensidade de luminosidade), onde quanto mais próximo de 100 mais perto do branco, os pós obtidos por secagem convencional e espuma apresentam coloração mais próxima do rosa do que para o branco. Em relação ao parâmetro a , que apresenta coloração que vai de verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos), o valor para o pó seco à 40 °C indica coloração mais perto de roxo/vermelho do que pra verde, com valores próximos de 22, no entanto, este mesmo parâmetro para os pós secos nas temperaturas de 50 °C e 60 °C (secagem convencional) e 50 °C (secagem em espuma), os valores foram diminuindo, o que significa que as amostras foram perdendo a intensidade da cor roxa/vermelha conforme o aumento da temperatura na secagem. O parâmetro b , que representa as cores azul (valores negativos) e amarelo (valores positivos) para os resultados acima, indica que para a amostra seca à 60 °C o pó obteve uma coloração menos intensa e mais distante do roxo/vermelho e mais próximo de cores mais claras, com tendência para a cor amarela.

3.5 Cinética de degradação em diferentes temperaturas

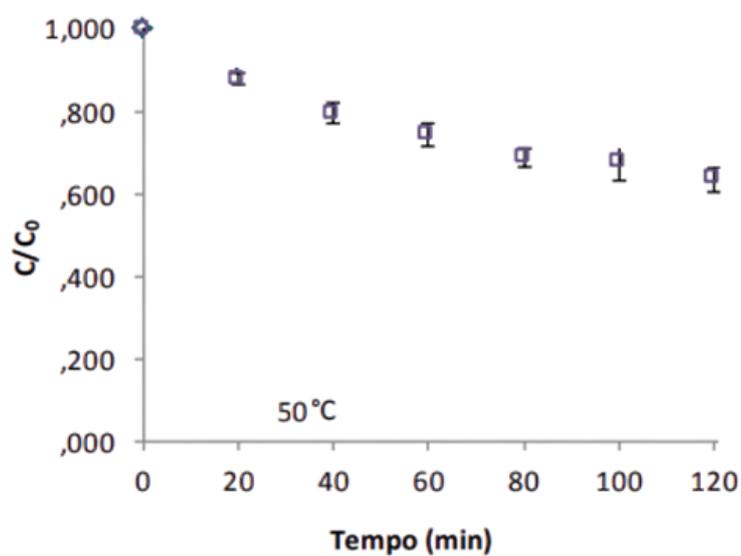
Os resultados foram computados através de Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey, a um nível de 5% de significância, utilizando o software Statistica 13.0.

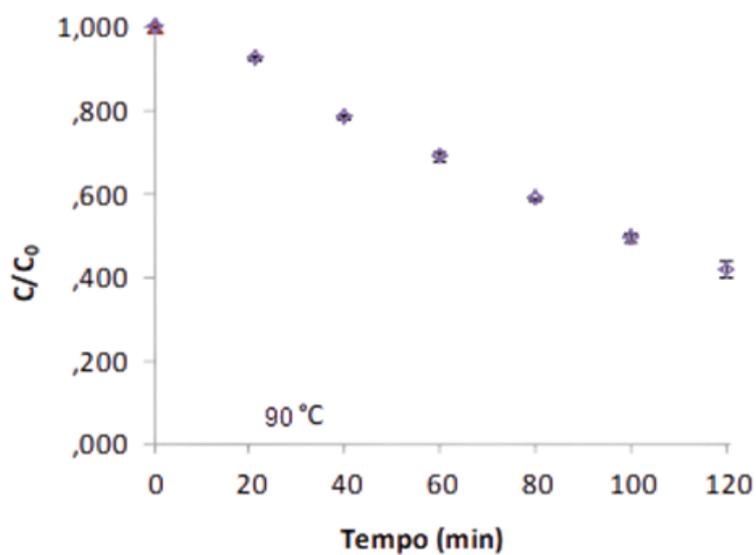
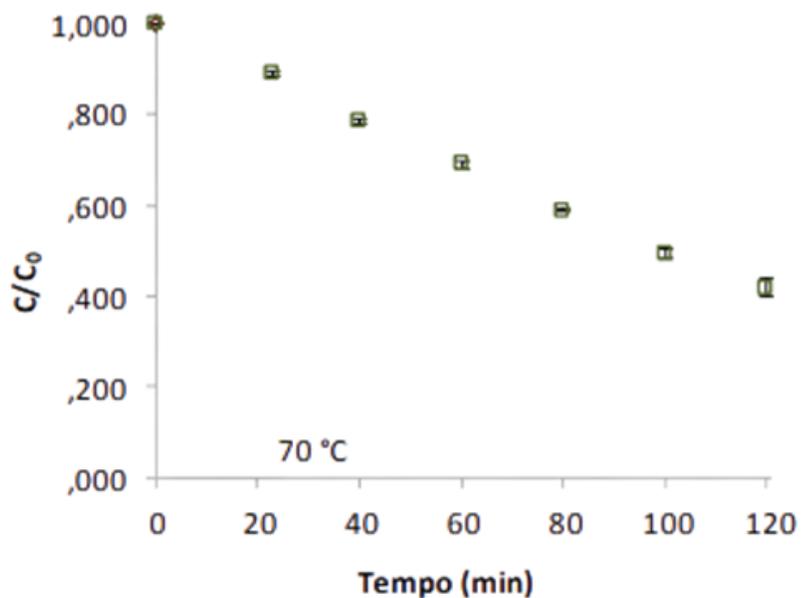
Conforme indicado na tabela 8, a constante de degradação (k_{obs}) e o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) foram afetados pelo aquecimento em todos os sistemas modelo. O aumento da temperatura aumentou os valores das constantes de degradação e diminuiu o tempo de meia-vida (Tabela 8 e Figura 12), destacando os efeitos do aquecimento na estabilidade dos compostos bioativos. A constante de degradação determinada a 90°C foi

maior que aquelas a 50°C, demonstrando um aumento nos valores de kobs além de uma redução nos valores da meia-vida.

Tabela 8: Constantes de degradação (kobs), tempos de meia-vida (t1/2), coeficientes de determinação (r²) e valor P para degradação térmica de betalaínas.

Temperatura (K)	k _{OBS} * 10 ⁻⁴ (min ⁻¹)	t _(1/2) min	r ²	p*10 ⁻¹⁰
323	52,34 ^a ± 5,3	99,63 ± 5	0,934	0,61
343	66,98 ^{ab} ± 5,2	73,21 ± 3	0,928	0,23
363	73,23 ^b ± 6,1	69,22 ± 1	0,921	0,97





De acordo com a tabela 8, o aumento da temperatura leva a uma maior taxa de degradação (Azeredo, 2009) nos extratos de *B. glabra*, o que foi confirmado em vários relatos onde foi estudado o efeito da temperatura versus tempo na degradação da betanina. Por exemplo, na pesquisa realizada com suco de beterraba (SAGUY, 1979), nos extratos aquosos de betacianinas de *C. formosanum* (TSAI *et al.*, 2010) e extratos de betaxantinas de *Opuntia ficus-indica* e *Stenocereus pruinosus* (COSKUNER *et al.*, 2000; RODRIGUEZ *et al.*, 2017), onde o mesmo comportamento foi observado, quando a taxa de degradação aumenta com temperaturas maiores.

Esses estudos registraram uma degradação de betalaína de primeira ordem ao longo do tempo de tratamento térmico. As inclinações da cinética de degradação foram consideradas constantes de degradação da taxa de primeira ordem (k), cujos valores absolutos aumentaram proporcionalmente ao aumento da temperatura, indicando uma degradação mais rápida em altas temperaturas.

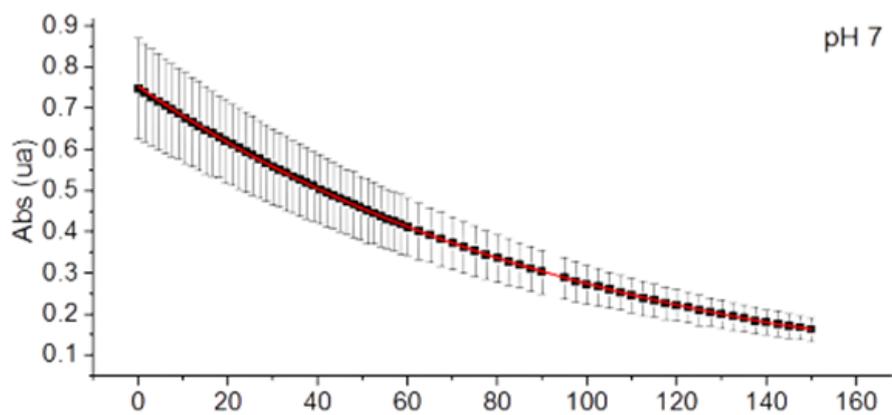
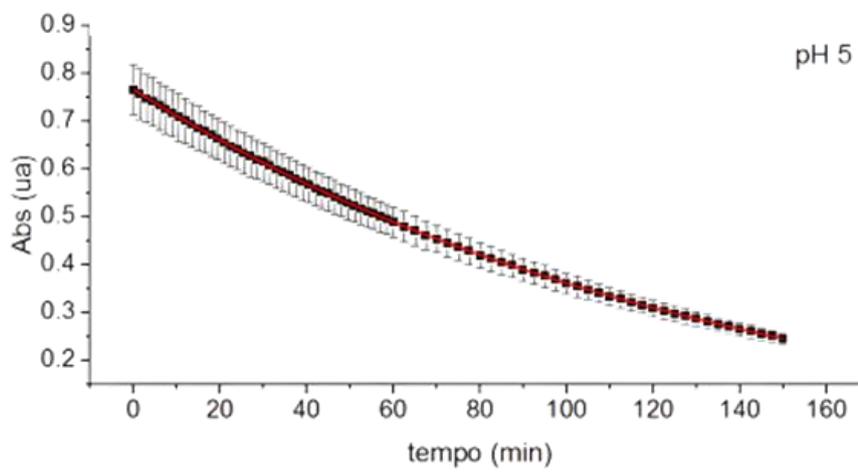
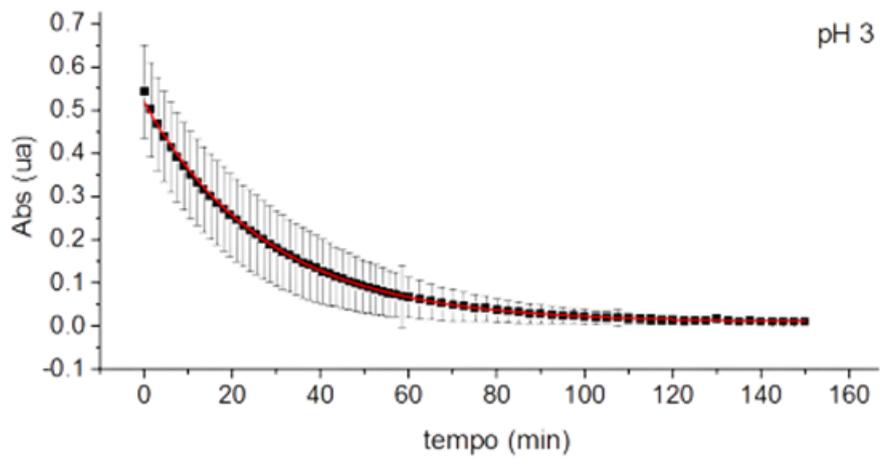
3.5 Cinética de degradação em diferentes valores de pH

O valor de k_{OBS} e tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) para a decomposição de betalaína em meio aquoso, a 50 °C, foi determinado em diferentes pH (3, 5 e 7) (Tabela 9 e Figura 13).

Tabela 9: valor de k_{OBS} e tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) para a decomposição de betalaína em meio aquoso, a 50 °C, foi determinado em pH 3, 5 e 7.

pH	k_{OBS} (min ⁻¹) x 10 ⁻³	$t_{(1/2)}$ min
3	136,8 ^a ± 8,9	4,3 ± 3
5	175,2 ^b ± 5,8	3,6 ± 2
7	203,7 ^c ± 6,2	3,2 ± 2

Diferentes letras minúsculas na mesma coluna (considerando as amostras) e diferentes letras maiúsculas na mesma linha (considerando os pHs avaliados) são significativamente diferentes estatisticamente ($p < 0,05$).



Os resultados foram computados através de Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey, a um nível de 5% de significância, utilizando o software Statistica 13.0.

A degradação da betalaína, avaliada em diferentes pHs, seguiu cinética de primeira ordem, conforme demonstrado anteriormente na literatura (CANO-HIGUITA *et al.*, 2015; BUSTOS-GARZA *et al.*, 2013; SERRIS & BILIADERIS, 2001). As constantes de degradação diferiram significativamente em função do pH. As amostras apresentaram diferenças significativas na constante de degradação nos pH's avaliados (Tabela 9), com valores de k_{OBS} 136,8 para pH 3; 175,2 para pH 5 e 203,7 para pH 7.

Como a estabilidade da betalaína é dependente do pH, pode-se dizer que este pigmento natural é mais estável entre pH 4 e 5 (HUANF & VON ELBE, 1987).

No estudo realizado por Antigo *et al.* (2017) foram avaliadas as constantes de degradação (k) e meia-vida ($t_{1/2}$) de microcápsulas de extrato de beterraba vermelha (*Beta vulgaris l.*) produzidas por spray dryer ou liofilização. Os valores de k_{OBS} encontrados ficaram próximos dos resultados deste presente estudo, com valor de k_{OBS} para pH 3 de 158, de 189,4 para pH 5 e de 215.6 para pH 6.

Assim, as melhores amostras sugeridas para uso em produtos alimentícios, é em pH 3 a 6. Finalmente, concluímos que o pó rosa obtido das brácteas de *B. glabra* demonstra ter potencial para ser utilizado como corante natural rosa em alimentos, no intuito de substituir os corantes sintéticos já existentes no mercado de alimentos.

3.6 Solubilidade das brácteas em diferentes temperaturas

Os valores referentes à solubilidade (%) nos diferentes tipos de pós, realizados nas 6 temperaturas, estão apresentados abaixo na Tabela 10.

Tabela 10: Solubilidade das brácteas em diferentes temperaturas

Temperatura	Pó à 40 °C	Pó à 50 °C	Pó à 60 °C	Pó à 50 °C espuma
25 °C	23,92 ^a % ± 0,0013	18,55 ^e % ± 0,0286	12,40 ^g % ± 0,0109	8,48 ^k % ± 0,0022
50 °C	25,10 ^a % ± 0,0043	25,15 ^a % ± 0,0027	20,80 ^h % ± 0,0028	9,57 ^k % ± 0,0103
60 °C	33,24 ^b % ± 0,0032	32,33 ^b % ± 0,0047	23,96 ^a % ± 0,0042	11,01 ^l % ± 0,0014
70 °C	45,97 ^c % ± 0,0105	35,18 ^f % ± 0,0037	27,24 ⁱ % ± 0,0023	13,29 ^g % ± 0,0077
80 °C	33,58 ^b % ± 0,0036	32,27 ^b % ± 0,0036	26,16 ⁱ % ± 0,0017	11,60 ^l % ± 0,0023
90 °C	26,49 ^d % ± 0,0019	33,20 ^b % ± 0,0064	20,70 ^j % ± 0,0027	9,44 ^k % ± 0,0031

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$).

De acordo com os resultados acima, os pós secos à 40 °C, 50 °C, 60 °C e 50 °C de espuma demonstraram comportamentos diferentes de acordo com a temperatura aplicada para determinação da solubilidade.

Para os resultados apresentados da solubilidade a 25°C, a 70 °C e a 90 °C, todos os pós obtiveram diferença significativa ($P < 0,05$). Para a solubilidade a 50 °C, a 60 °C e a 80 °C, os pós secos à 40 °C e a 50 °C não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$), com valores de 25,10% e 25,15%, respectivamente (solubilidade a 50 °C); 33,24% e 32,23%, respectivamente (solubilidade a 60 °C) e 33,58% e 32,27%, respectivamente (solubilidade a 80 °C).

No entanto, é importante destacar que, em todos os pós (secos à 40 °C, 50 °C, 60 °C e 50 °C de espuma), a maior porcentagem de solubilidade foi encontrada na mesma

temperatura, a de 70 °C, e o maior valor encontrado para a solubilidade, nesta temperatura, foi no pó seco a 40 °C, obtendo 45,97 %. Este fato pode ser explicado devido a maior temperatura aplicada durante a secagem das brácteas a 50 °C e 60 °C, que, possivelmente afetou a estabilidade e estrutura das betalaínas e, conseqüentemente, resultou na diminuição na solubilidade dos pós.

A redução da solubilidade pode ser devido a uma redução ou perda de grupos hidrofílicos, que se ligam a moléculas de água, provocado com o aumento da temperatura de secagem (GONÇALVES, 2018). Devido ao baixo número de estudos sobre a solubilidade das betalaínas provenientes das brácteas de *B. glabra*, a literatura não apresenta discussão relacionada ao comportamento dos pós rosa submetidos a diferentes tratamentos.

Com relação a estabilidade de corantes naturais, a técnica de microencapsulação pode ser utilizada visando melhorar a solubilidade dos mesmos, além de facilitar o manuseio e aumentar a estabilidade deste pigmento (DALLAGNOL, 2013). Por fim, sugere-se a realização de estudos futuros, para que melhores resultados das propriedades físico-químicas de solubilidade das brácteas de *B. glabra* sejam alcançados.

3.7 Índice de absorção de água (IAA) e Índice de absorção de óleo (IAO) das brácteas

Os valores referentes aos índice de absorção de água (IAA) e índice de absorção de óleo (IAO) das brácteas de *B. glabra* nos diferentes tipos de pós (secos à 40 °C, 50 °C, 60 °C e 50 °C espuma) estão apresentados abaixo na Tabela 11.

Tabela 10: Resultado dos valores de índice de absorção de água (IAA) e Índice de absorção de óleo (IAO) das brácteas de *B. glabra*.

Pós	IAA (g/g)	IAO (g/g)
40 °C	1,39 ^a ± 0,56	1,71 ^a ± 0,50
50 °C	1,56 ^a ± 0,29	2,00 ^a ± 0,73
60 °C	1,51 ^a ± 0,89	1,94 ^a ± 0,71
50 °C espuma	1,75 ^a ± 0,74	2,11 ^a ± 0,51

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05).

De acordo com os resultados apresentados na tabela acima, os valores encontrados não diferiram significativamente entre si para as diferentes amostras dos pós rosa, tanto para IAA quanto para IAO.

Os baixos valores encontrados para o índice de absorção de água (IAA) em todas as amostras, pode ser explicado devido ao IAA estar associado à capacidade que uma proteína possui em reter água (LIU *et al.*, 2018). Com isso, pode-se dizer que não houve associação de proteínas na matriz dos pós com a água. O IAA contribui com as propriedades físicas e de processamento em produtos alimentícios, principalmente relacionados à umidade dos mesmos.

Em relação ao índice de absorção de óleo (IAO), as amostras também não apresentaram diferenças significativas estatisticamente. No entanto, os maiores valores encontrados, tanto para IAA, quanto para IAO, foram no pó seco a 50 °C em espuma. Este fato pode ser explicado devido à composição do pó seco a 50 °C em espuma, apresentar em sua matriz a proteína de ervilha. Por mais que o valor encontrado não diferiu significativamente, houve uma pequena potencialização das propriedades

tecnológicas de absorção de água e de óleo observadas nesta amostra, pela presença da proteína de ervilha. De acordo com Shevkani *et al.* (2019), a presença de proteína contribui para a absorção de água e de óleo no produto.

Devido ao baixo número de estudos sobre o índice de absorção de água e de óleo das betalaínas, provenientes das brácteas de *B. glabra*, a literatura não apresenta discussão relacionada ao comportamento dos pós rosa submetidos a IAA e IAO. Sendo assim, é recomendado que novos estudos sejam realizados, para que melhores resultados das propriedades físico-químicas de IAA e IAO das brácteas de *B. glabra* sejam avaliados.

3.8 Caracterização da espuma

A espuma apresentou 100% de estabilidade, dessa forma, a ocorrência de coalescido foi nula, demonstrando boa estabilidade com a adição de apenas 2g da goma xantana na formulação da mesma, caracterizando-se assim como um bom agente espumante.

Também pode ser observado que quando a espuma foi batida, pequenas bolhas na superfície surgiram, aumentando assim a espessura da espuma, que ajudou na sua estabilização das bolhas (ZAYAS, 2012). Além disso, na formulação da espuma, com adição da proteína de ervilha em sua composição, também colaborou para a maior estabilidade da espuma. Segundo Edelstein (2013), a temperatura e a presença de lipídios, sais, ácidos e açúcares na matriz alimentar afetam a formação da forma.

4. CONCLUSÃO

As betalaínas são pigmentos bioativos com usos promissores, que podem ser encontrados em várias espécies vegetais. Apesar de poucos relatos de estudos utilizando as brácteas de *B. glabra* como corante natural rosa em alimentos, esta planta apresenta-se como uma excelente fonte de betalaína, de compostos fenólicos, com baixa toxicidade, e por isso, ainda é necessário caracterizar outras espécies e variedades vegetais para oferecerem uma maior variedade de betalaínas e nutrientes em um amplo espectro de cores.

Como conclusão final deste presente estudo, em relação às análises físico-química dos pós, obtidos por diferentes processos/temperaturas de secagem, para a determinação dos teores de compostos fenólicos totais, para a determinação da capacidade antioxidante (pelos métodos DPPH e FRAP), para os teores de betalaínas, para a análise de cor, e para a análise solubilidade; o melhor resultado encontrado, dentre todas estas análises, foi observado no pó seco a 40 °C, quando comparado com os resultados obtidos nos pós secos a 50 °C, a 60 °C e no pó seco a 50 °C em camada de espuma.

Desta forma, apesar de, no Capítulo II, onde foi avaliado o melhor modelo matemático para a cinética de secagem das brácteas, o qual constatou-se que a melhor temperatura de secagem para pó foi a 50 °C; o pó que apresentou as melhores características físico-químicas, nesse Capítulo III, foi o pó seco a 40 °C.

Assim, de acordo com os resultados obtidos anteriormente nas análises de caracterização dos pós, sugere-se que seja utilizado, para aplicação em alimentos, o pó rosa obtido das brácteas de *Bougainvillea glabra* seco a temperatura de 40 °C. Este pó, inclusive, apresentou uma coloração rosa mais intensa, quando comparado com os outros pós, tanto na secagem convencional, como na secagem em espuma, enfatizando-se, desta maneira, sua justificativa para ser aplicado como agente de cor em alimentos quando seco a 40 °C.

Para aproveitar ao máximo as fontes de betalaínas vegetais, continua sendo importante desenvolver metodologias de extração que não exijam altas temperaturas, que evitem o uso de altos volumes de solvente e que permitam altos rendimentos de extração de betalaínas. Os métodos tradicionais de extração usam solventes orgânicos, o que representa um problema de segurança alimentar à luz dos resíduos de solventes nos alimentos.

Metodologias de extração verde não convencionais podem melhorar o processo de extração de materiais fibrosos, como caules, folhas, brácteas, raízes e cascas, mas esses métodos devem ser otimizados para selecionar os parâmetros relevantes. Além disso, extratos de pigmentos naturais enriquecidos por métodos não convencionais, têm a vantagem de serem geralmente ricos em compostos bioativos polifenólicos.

É sabido que as betalaínas são pouco estáveis à temperatura, e este fator deve ser considerado para as aplicações destes pigmentos ou durante o tratamento térmico, levando-se em consideração também o valor médio do pH. Em relação à baixa estabilidade da betalaína, existem vários métodos que visam reduzir a degradação e aumentar a vida de prateleira, bem como estabilizá-los contra a atividade de enzimas digestivas em aplicações alimentícias.

Embora a secagem convencional e em espuma sejam tecnologias eficientes para concentrar betalaínas em produtos em pó, continua sendo importante estudar outras técnicas de secagem que contribuam para ampliar a aplicabilidade e funcionalidade das betalaínas sem que elas sofram alterações físico-químicas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, C. B. et al. Phytochemical study bioassay-guided by tests of toxicity on *Artemia salina* and antiplasmodial activity from stem of aninga (*Montrichardia linifera*), *Acta Amazonica*, v.41, p.3, 2011. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000300015>>. Accessed: Abr. 17, 2021. doi: 10.1590/S0044-59672011000300015.

ANASTÁCIO, L. de B. et al. Corantes Alimentícios Amarantho, Eritrosina B e Tartrazina, e seus possíveis Efeitos Maléficos à Saúde Humana. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences*, v.2(3), p.16-30, 2016. Available from: <<http://hdl.handle.net/1843/39736>>. Accessed: Abr. 13, 2021. doi: 10.1590/S0044-59672011000300015.

AOAC: Association of official analytical chemists. **Official Methods of analysis of AOAC international**. 15th edition. Washington, DC 1990.

ARCANJO, D. D. R. et al. Bioactivity evaluation against *Artemia salina* Leach of medicinal plants used in Brazilian Northeastern folk medicine. *Brazilian Journal of Biology*, v. 2, n.3, p.505-509, 2012. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000300013>>. Accessed: Abr. 30, 2021. doi: 10.1590/S1519-69842012000300013.

BÁRTA, J. et al. Effect of Boiling on Colour, Contents of Betalains and Total Phenolics and on Antioxidant Activity of Colourful Powder Derived from Six Different Beetroot (*Beta vulgaris L. var. conditiva*) Cultivars: *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. v.70, n.4, p.377–385, ISSN: 2083-6007, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.31883/pjfn/128613>>. Accessed: Abr. 30, 2021. doi: 10.31883/pjfn/128613.

BRAR, A. S. et al. Optimization of Process Parameters for Foam-Mat Drying of Peaches. *International Journal of Fruit Science*. p-1495-1518, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1812017>>. Accessed: Oct, 9, 2021. doi: 10.1080/15538362.2020.1812017.

BRASIL. **Agência de Vigilância Sanitária**, Resolução nº387, 05 de Agosto de 1999. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1999. Available from: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/387_99.htm>. Accessed: Abr, 6, 2022.

BUSTOS-GARZA, C. et al. Thermal and pH stability of spray-dried encapsulated astaxanthin oleoresin from *Haematococcus pluvialis* using several encapsulation wall materials. **Food Research International**, v.54(1), p.641-649, 2013. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.061>>. Accessed: Abr, 26, 2022. doi: 10.1016/j.foodres.2013.07.061.

CANO-HIGUITA, D. M. et al. Stability of curcumin microencapsulated by spray and freeze drying in binary and ternary matrices of maltodextrin, Arabic gum and modified starch. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.39(6), p.2049-2060, 2015. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12448>>. Accessed: Mar, 27, 2022. doi:10.1111/jfpp.12448.

COSKUNER, Y. et al. Effect of pH and temperature on the thermostability of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) yelloworange pigments. **Food / Nahrung**, v. 44(4), p.261–263, 2000. Available from: <<https://doi.org/10.1002/1521>>. Accessed: Mai, 12, 2022. doi: 10.1002/1521.

GUNESER, O. Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. **Food Chemistry**. v. 196; p.220–227, 2016. Assessed: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.033> 0308-8146/ 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

HSU, H.-Y. et al. Degradation of ascorbic acid in ethanolic solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.10696-10701, 2012. Available from: <<https://doi.org/10.1021/jf3032342>>. Accessed: Apr. 07, 2022. doi: 10.1021/jf3032342.

HEUER, S. et al. Betacyanins from bracts of *Bougainvillea glabra*. **Phymchmiary**. Vol. 37. No. 3. pp. 761-767, 1994 doi: 0031-9422r94.

HUANG, A. S. Effect of pH on the Degradation and Regeneration of Betanine. **Food Science**, 1987. <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05907.x>> Accessed: Apr. 17, 2022. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb05907.x.

KANDASAMY, P. et al. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v.51(10), p.2526–2534, 2014. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0812-y>>. Accessed: Apr. 17, 2022. doi: 10.1007/s13197-012-0812-y.

KERSTER, H.W. e SCHAEFFER, D. J. Brine shrimp (*Artemia salina*) nauplia as a teratogen test system. **Ecotoxicol Environ Saf**, v.7, p.342-349, 1983. Available from:

<<https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000300013>>. Accessed: Jan. 27, 2022. doi: 10.1590/S1519-69842012000300013.

KUHUN, F. et al. Evaluation of green extraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity from *Bougainvillea glabra* bracts. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v.19, p.100362, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100362>>. Accessed: Ago. 17, 2020. doi: 10.1016/j.scp.2020.100362.

KUMAR, S. S. et al. Nanoliposomal encapsulation mediated enhancement of betalain stability: Characterisation, storage stability and antioxidant activity of *Basella rubra* L. fruits for its applications in vegan gummy candies. **Food Chemistry**. v.333, p.127442, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127442>>. Accessed: Abr. 11, 2022. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127442.

LEMOS, B. C. M. et al. Determinação dos teores de betalaína e composição centesimal de beterraba in natura e tipo chips. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v.10 n.2, p.80-92, 2019.

LIEBERMAN, M.: A brine shrimp bioassay for measuring toxicity and remediation of chemicals. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n.12, p.1689-1690, 1999.. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1021/ed076p1689>>. Accessed: Mai. 21, 2022. doi: 10.1021/ ed076p1689.

LI-CHEM et al. (2006) Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v.95, i.2, p.319-327, 2006. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>>. Accessed: Apr. 17, 2021. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002.

LUNA, J. de S. et al. A study of the larvicidal and molluscicidal activities of some medicinal plants from northeast Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**. Source: PubMed 97. 199–206, 2005. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.10.004>>. Accessed: Mai. 07, 2022. doi: 10.1016/j.jep.2004.10.004.

MADHAVA, N. M. et al. Technological advances in food colours. **Chemical Industry Digest** 3, 79-88, 2012. Available from: <<http://ir.cftri.res.in/id/eprint/11060>>. Accessed: Mar. 17, 2022.

MEYER, B. N. et al. Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta Medica**, v. 45, p.31-34, 1982. Available from:

<<http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-971236>>. Accessed: Ago. 18, 2021. doi: 10.1055/s-2007-971236.

NG, M. L. & SULAIMAN R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 88, 80–86, 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>>. Accessed: Mai. 02, 2022. doi: Accessed: Mar. 17, 2022.

OLIVEIRA, V. B. et al. Native foods from Brazilian biodiversity as a source of bioactive compounds. *Food Research International*, v.48(1), p.170–179, 2012. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.011>>. Accessed: Mar. 22, 2022. doi: 10.1016/j.foodres.2012.03.011.

PARRA, A. L. et al. Comparative study of the assay of *Artemia salina L.* and the estimate of the medium lethal dose (LD50 value) in mice, to determine oral acute toxicity of plant extracts. *Phytomedicine*, v.8, n.5, p.395-400, 2001. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1078/0944-7113-00044>>. Accessed: Fev. 21, 2022. doi: 10.1078/0944-7113-00044.

PINTATHONG, P. et al. Phenolic Antioxidants From *Bougainvillea SPP.* **1st Mae Fah Luang University International Conference**, 2012.

RUFINO, M. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v.121, p. 996-1002, 2010. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>>. Accessed: Apr. 07, 2020. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037.

RYMBAI, H.; Sharma, R.; Srivastav, M. Bio-colorants and its implications in health and food industry—A review. *International Journal of PharmTech Research*. ISSN: 0974-4304, v. 3, n° 4. 2228–2244, 2011.

SADILOVAa, E. et al, 2017. Thermal degradation of anthocyanins and its impact on color and in vitro antioxidant capacity. *Molecular Nutrition Food Reserch*. 2007, 1461 51, 1461 – 1471 DOI 10.1002/mnfr.200700179

SWAIN, T. & HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.10, p.63-68, 1959. Available from:

<<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>>. Accessed: Apr. 17, 2022. doi: 10.1002/jsfa.2740100110.

SAGUY, I. Thermostability of red beet pigments (*betanine and vulgaxanthin-I*): Influence of pH and temperature. **Journal of Food Science**, v.44(5), p.1554–1555, 1979. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb06488.x>>. Accessed: Mar. 13, 2021. doi: 10.1111/j.1365-2621.1979.tb06488.x.

SANTOS, N. S. et al., Natural colorants: importance and sources of obtainment. **Revista Científica Multidisciplinar**. v.3, n.3, p.2675-6218 2022. Available from: <<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i3.1165>>. Accessed: Mar. 13, 2021. doi: 10.47820/recima21.v3i3.1165.

SERRIS, G. S., & BILIADERIS, C. G. Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.81 (8), p.691-700, 2001. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.864>>. Accessed: Jun. 30, 2022. doi: 10.1002/jsfa.864.

SIDKEY, B.an A. Antibacterial and antioxidant properties of *Bougainvillea Specctabilis L.* and *Myrtus Communs L.* leaves extracts. **Goblal Journal of Bio-Science and Biotechnology**. v.7 (3); p.336-342, 2018.

SLANTAR, A. et al. HPLC-MSn identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris L. ssp. vulgaris*) parts and cultivars. **Journal of Food Science**. v.80, p.1952–1958, 2015. Available from: <<https://doi.org/10.1111/1750-3841.12977/>>. Accessed: Mar, 12, 2022. doi: 10.1111/1750-3841.12977.

SOLIS, P. N. et al. A microwell cytotoxicity assay using *Artemia salina* (brine shrimp). **Planta Medica**, v.59, n.3, p.250-2, 1993. Available from: <<https://doi.org/10.1055/S-2006-959661>>. Accessed: Mar, 12, 2022. doi: 10.1055/S-2006-959661.

TSAI P. J. el al. Thermal and pH stability of betacyanin pigment of djulis (*Chenopodium formosanum*) in Taiwan and their relation to antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58(2), p.1020–1025, 2010. Available from: <<https://doi.org/10.1021/jf9032766>>. Accessed: Mar, 12, 2022. doi: 10.1021/jf9032766.

VON ELBE, J. H. et al. Color stability of betanin. **Journal Food Science**, v.39 (2), p.334-7, 1974. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1365->

2621.1987.tb05907.x>. Accessed: Mai, 20, 2022. doi: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb05907.x.

VENKATACHALAM, U. & MUTHUKRISHNANR, S. Free radical scavenging activity of ethanolic extract of *Desmodium gangeticum*. **Journal of Acute Medicine**, v.2, i.2, p.36-42, 2012. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.jacme.2012.04.002>>. Accessed: Apr, 21, 2022. doi: 10.1016/j.jacme.2012.04.002.

ZEB, A. et al. Phytochemical and toxicological investigations of crude methanolic extracts, subsequent fractions and crude saponins of *Isodon rugosus*. **Biological Research**. 47:57, 2014. Disponível em <<http://www.biolres.com/content/47/1/57>> Acesso em: 18 Jan 2022.