

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

ANA CAROLINA DIAS DE SOUSA

**PROCESSOS DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES GRAS PARA OBTENÇÃO DE  
COMPOSTOS FENÓLICOS PARTIR DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO  
CONVENCIONAIS**

BURI  
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

ANA CAROLINA DIAS DE SOUSA

**PROCESSOS DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES GRAS PARA OBTENÇÃO DE  
COMPOSTOS FENÓLICOS A PARTIR DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO  
CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência parcial para a obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia de Alimentos na  
Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Thaís Jordânia Silva

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Ana Carolina de Aguiar

Financiamento: CNPq - Conselho Nacional de  
Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Buri  
2025

Sousa., Ana Carolina Dias

Processos de extração com solventes GRAS para obtenção de compostos fenólicos a partir de plantas alimentícias não convencionais. / Ana Carolina Dias Sousa. -- 2025.  
31f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,  
campus Lagoa do Sino, Buri  
Orientador (a): Thaís Jordânia da Silva  
Banca Examinadora: Isabelle Cristina Oliveira Neves,  
Sérgio Henrique Silva  
Bibliografia

1. Extração com solventes GRAS para obtenção de compostos fenólicos a partir de plantas alimentícias não convencionais. I. Sousa., Ana Carolina Dias. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539


# FOLHA DE APROVAÇÃO

**ANA CAROLINA DIAS DE SOUSA**

PROCESSOS DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES GRAS PARA OBTENÇÃO DE  
COMPOSTOS FENÓLICOS DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para  
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de  
Alimentos na Universidade Federal de São  
Carlos.

Aprovado em 25/11/2025

Documento assinado digitalmente  
 THAIS JORDANIA SILVA  
Data: 27/11/2025 11:03:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof<sup>ª</sup> Dra. Thaís Jordânia da Silva  
Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino

Documento assinado digitalmente  
 ISABELLE CRISTINA OLIVEIRA NEVES  
Data: 25/11/2025 18:28:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>ª</sup> Dra. Isabelle Cristina Oliveira Neves Universidade  
Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino

Documento assinado digitalmente  
 SERGIO HENRIQUE SILVA  
Data: 25/11/2025 10:42:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Sérgio Henrique Silva Universidade  
Estadual Paulista – Campus Ilha Solteira

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha mãe, a grande responsável pela minha graduação.

## AGRADECIMENTO

Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram para que este sonho se concretizasse.

À minha mãe, que nunca mediu esforços para que eu chegasse até aqui. A ela, depositei minha gratidão mais profunda.

Aos meus irmãos, que foram inspiração na infância e permaneceram como fonte de força ao longo do meu caminho.

Às minhas companheiras de república, que transformaram um início difícil de adaptação em uma experiência de partilha genuína de sentimentos, conquistas e aflições.

Agradeço a todos os meus professores, que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal ao longo da graduação. Cada orientação, aula, discussão e incentivo foi essencial para a construção do conhecimento que trago comigo hoje.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa de Iniciação Científica que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço às minhas orientadoras, que acreditaram no projeto e no meu potencial. A vocês, devo igualmente a conclusão deste ciclo.

## RESUMO

Diante dos desafios contemporâneos relacionados à segurança alimentar e à sustentabilidade, as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) emergem como alternativas estratégicas para ampliar a diversidade nutricional e promover o uso responsável dos recursos naturais. Este estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar processos de extração com solventes GRAS (Geralmente Reconhecido como seguro) para a obtenção de compostos fenólicos a partir da beldroega (*Portulaca oleracea* L.), uma PANC de alto valor nutricional e funcional. A pesquisa teve caráter bibliográfico com a análise de estudos científicos recentes sobre extração verde, compostos bioativos e sustentabilidade agroindustrial. Além disso foi realizada extração por maceração e assistida com banho de ultrassom da beldroega, utilizando etanol, água e suas misturas (25, 50 e 75%). Os extratos foram caracterizados quanto ao teor de fenólicos totais. A condição experimental que apresentou o melhor desempenho para a recuperação de compostos fenólicos totais foi o uso de solvente hidroalcoólico a 75%, obtendo 22,45 mg GAE/g de amostra. Entretanto, a extração assistida por banho de ultrassom, com 75% de etanol por 30 min, resultou em um rendimento ligeiramente superior. Observou-se que o uso de solventes GRAS, como etanol e misturas hidroalcoólicas, é uma alternativa eficiente e ambientalmente segura, capaz de preservar a integridade dos compostos bioativos e reduzir impactos ambientais. Constatou-se que a beldroega apresenta elevado teor de fenólicos, configurando-se como fonte promissora para a formulação de alimentos funcionais, cosméticos e fármacos naturais. Conclui-se que os processos de extração sustentáveis representam uma ferramenta essencial para a valorização das PANC e o fortalecimento da bioeconomia, sendo recomendada a continuidade de estudos experimentais para otimizar parâmetros operacionais e validar os rendimentos obtidos.

**Palavras-chave:** PANC; *Portulaca Oleracea*; beldroega; solventes GRAS; compostos fenólicos; extração verde.

## ABSTRACT

Given the contemporary challenges related to food security and sustainability, Non-Conventional Edible Plants (PANC) are emerging as strategic alternatives to expand nutritional diversity and promote the responsible use of natural resources. This study aimed to develop and evaluate extraction processes using GRAS solvents (Generally Recognized as Safe) for the recovery of phenolic compounds from purslane (*Portulaca oleracea L.*), a PANC of high nutritional and functional value. The research was based on a literature review and analysis of recent scientific studies addressing green extraction, bioactive compounds and agro-industrial sustainability. In addition, extraction by maceration and ultrasonic bath was performed using ethanol, water and their mixtures (25, 50 and 75%). The extracts were characterized with respect to total phenolic content. The experimental condition that showed the best performance for the recovery of total phenolics was the use of a 75% hydroalcoholic solvent, yielding 22.45 mg GAE/g of sample. However, ultrasonic-assisted extraction with 75% ethanol for 30 minutes resulted in a slightly higher yield. It was observed that the use of GRAS solvents, such as ethanol and hydroalcoholic mixtures, is an efficient and environmentally safe alternative capable of preserving bioactive molecules while reducing environmental impacts. The results indicate that purslane presents high phenolic content, establishing itself as a promising source for the formulation of functional foods, cosmetics and natural pharmaceuticals. It is concluded that sustainable extraction processes represent an essential tool for the valorization of PANC and the strengthening of the bioeconomy, and further experimental studies are recommended to optimize operational parameters and validate the extraction efficiency obtained.

**Keywords:** PANC; *Portulaca Oleracea*; purslane; GRAS solvents; phenolic compounds; green extraction.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
<b>2.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>11</b>
3. METODOLOGIA.....	11
<b>3.1. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2. OBTENÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.1. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIPÍDIOS TOTAIS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PROTEÍNAS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.5. DETERMINAÇÃO DOS CARBOIDRATOS TOTAIS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.4. ENSAIOS DE EXTRAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FENÓLICOS TOTAIS .....</b>	<b>15</b>
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
<b>4.1. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA BELDROEGA .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. COMPOSTOS BIOATIVOS PREDOMINANTES DA BELDROEGA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES GRAS .....</b>	<b>21</b>
<b>4.4. APLICAÇÃO INDUSTRIAL E SUSTENTÁVEL DA BELDROEGA.....</b>	<b>23</b>
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
<b>5.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA BELDROEGA .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2. ENSAIOS DE EXTRAÇÃO .....</b>	<b>26</b>
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	28
7. REFERÊNCIAS .....	29

## 1. INTRODUÇÃO

As Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) constituem um grupo diversificado de espécies vegetais com elevado potencial nutricional, ecológico e socioeconômico, caracterizadas principalmente por sua rusticidade, adaptabilidade e ampla distribuição geográfica. Diferentemente das culturas agrícolas tradicionais, as PANCs demandam poucos recursos e se desenvolvem em solos de baixa fertilidade, o que as torna estratégicas em regiões com condições ambientais adversas. Segundo Ferreira et al. (2024), essas plantas apresentam elevado teor de vitaminas, minerais e compostos bioativos, representando uma fonte sustentável e acessível de nutrientes essenciais para populações em situação de vulnerabilidade alimentar. Além disso, o resgate e a valorização das PANCs têm despertado interesse científico, uma vez que seu aproveitamento contribui para a diversificação alimentar, a segurança nutricional e a conservação da biodiversidade local (Pereira *et al.*, 2023).

Estudos recentes apontam que as PANCs possuem uma notável capacidade de gerar ingredientes funcionais de interesse industrial, especialmente fenólicos, flavonoides e outros antioxidantes naturais (Cavalcante *et al.*, 2023; De Souza *et al.*, 2023). A extração desses compostos, entretanto, requer técnicas ambientalmente seguras e eficientes, capazes de preservar sua integridade e maximizar seu rendimento. Nesse sentido, a utilização de solventes GRAS (Geralmente Reconhecido como Seguro) como etanol, água e misturas hidroetanólicas têm sido amplamente reconhecida como uma alternativa sustentável, uma vez que tais solventes são atóxicos, biodegradáveis e seguros tanto para o consumidor quanto para o meio ambiente (Aguiar *et al.*, 2019). Esses sistemas extrativos não apenas garantem a obtenção de compostos bioativos de elevada pureza, mas também viabilizam sua aplicação direta nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

Entre as espécies mais promissoras desse grupo destaca-se a beldroega (*Portulaca oleracea L.*), conhecida em diversos países como “panaceia global” devido às suas múltiplas aplicações nutricionais e medicinais. Pertencente à família Portulacaceae, essa planta de folhas suculentas e flores amarelas é amplamente distribuída no território brasileiro e reconhecida por sua elevada tolerância a estresses ambientais. Segundo Li *et al.* (2024), a beldroega apresenta uma composição fitoquímica rica em compostos fenólicos, flavonoides, ácidos graxos ômega-3 (especialmente o ácido alfa-linolênico), além de vitaminas do complexo B, vitamina C e minerais essenciais, o que a torna um alimento funcional de alto valor agregado. Com potencial de consumo em forma de saladas e preparações cozidas, a planta vem despertando o interesse

científico e industrial por seu potencial na produção de aditivos naturais, cosméticos e fármacos de origem vegetal (Li *et al.*, 2024).

Assim, a questão-problema que orientou este estudo foi compreender como o uso de solventes GRAS em processos de extração de compostos fenólicos e antioxidantes da beldroega pode representar uma alternativa viável, segura e sustentável. Tal investigação parte da hipótese de que o emprego de solventes ecológicos, aliado a métodos de extração de baixo impacto energético, é capaz de potencializar o rendimento e a qualidade dos compostos bioativos obtidos, assegurando a integridade química das substâncias e reduzindo os impactos ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Desenvolver e avaliar processos de extração por meio de maceração e assistida por ultrassom, para a obtenção e quantificação dos compostos bioativos da beldroega, utilizando solventes verdes e não tóxicos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinação da composição centesimal da beldroega;
- Avaliar o efeito da composição de solvente (etanol, água e misturas de etanol e água) no rendimento total de extração;
- Avaliar o efeito da composição de solvente no teor de compostos fenólicos dos extratos obtidos por maceração e assistida por banho de ultrassom.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. REVISÃO DE LITERATURA**

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica fundamentando-se na análise interpretativa e crítica de materiais acadêmicos e científicos sobre o tema “extração de compostos bioativos a partir de Plantas Alimentícias Não Convencionais”. Foram consultadas bases de dados reconhecidas, como SciELO, Google Acadêmico e ScienceDirect, utilizando os descritores: “*Portulaca oleracea* e compostos fenólicos”, “solventes GRAS e extração verde” e “PANC e antioxidantes naturais”. A seleção dos materiais seguiu critérios de inclusão que contemplaram publicações entre os anos de 2018 e 2025, redigidas em português e inglês, que abordassem processos de extração sustentáveis, o uso de solventes ecológicos e a caracterização

química de compostos bioativos em PANCs. Foram excluídos artigos que apresentavam metodologias incompletas, ausência de dados quantitativos relevantes ou enfoques exclusivamente agrônômicos, sem conexão direta com a química dos compostos extraídos. A análise do conteúdo foi conduzida com base na técnica de revisão integrativa, permitindo o confronto teórico entre diferentes estudos e a sistematização de evidências sobre a aplicabilidade industrial e ambiental da beldroega.

### **3.2. OBTENÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA**

As amostras de beldroega foram colhidas no campus Lagoa do Sino da Universidade Federal de São Carlos, no município de Buri, localizado geograficamente em 23 °, 35', 45" S, e 48°, 31', 53" W. As plantas foram colhidas em uma área de cultivo de vegetais sem a utilização de agrotóxicos e crescimento espontâneo. Após a separação de folhas injuriadas, remoção de terra, pedras e insetos, as plantas foram dispersas separadamente em bandejas de alumínio e submetidas a secagem a 65 °C por 20 h. Por fim, as amostras secas foram moídas em liquidificador para diminuir o tamanho das partículas e facilitar o processo de transferência de massa nas etapas posteriores de extração. Após o processo de moagem, as amostras foram embaladas em sacos de polietileno, o ar foi removido manualmente e as embalagens cobertas com papel alumínio. As amostras foram armazenadas a -18 °C, e submetidas as posteriores etapas de extração.

### **3.3. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL**

As análises de determinação da composição centesimal foram realizadas nas amostras *in natura*, seca e moída, em triplicatas com os métodos descritos abaixo. Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão.

#### **3.3.1. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE**

A determinação da umidade foi realizada para as amostras *in natura*, secas e moídas, conforme a técnica descrita pela AOAC (AOAC, 1999). Cerca de 3,0 g de amostra foram colocadas em cadinhos, aquecidos em estufa (Lucadema - 82/42) com potência fixa de 550 KW/h a 105 °C por 3 h, deixados atingir temperatura ambiente e pesados. As operações de aquecimento e resfriamento à temperatura ambiente das amostras foram repetidas em intervalos

de 30 min, até massa constante. A umidade foi expressa em porcentagem em relação à massa total da amostra.

### **3.3.2. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIPÍDIOS TOTAIS**

O teor de lipídios foi determinado pelo método Soxhlet. Para extração Soxhlet de 5,0 g da amostra seca e moída foi acondicionada em cartucho de papel filtro e inseridos no extrator Soxhlet. Aproximadamente 150 mL de hexano foi adicionado a um balão volumétrico e o sistema foi aquecido até a temperatura de ebulição do solvente. O refluxo foi mantido por 6 e em seguida, o solvente foi evaporado sob vácuo e o extrato recuperado foi pesado e armazenado a -18 °C. Os resultados foram expressos como porcentagem em base seca.

### **3.3.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PROTEÍNAS**

O método de Kjeldahl consiste nas etapas de digestão, destilação e titulação. No processo digestão foi pesado cerca de 0,2 g de amostra em papel manteiga. A amostra acondicionada no papel manteiga foi transferida para um tubo de Kjeldahl seguido da adição de 2 g de mistura catalítica e 2 mL de ácido sulfúrico. O tubo foi inserido no bloco de digestão e após o processo de digestão, foi adicionado cerca de 4 mL de água destilada no tubo (à temperatura ambiente) até completa dissolução da amostra. O conteúdo do tubo de digestão foi então transferido ao tubo de destilação e acoplado ao destilador junto com cerca de 20 mL de NaOH 40%. O destilado foi recolhido em um erlenmeyer contendo ácido clorídrico e indicador de fenolftaleína. Após atingir um volume de cerca de 50 mL no erlenmeyer, a solução foi titulada com HCl (0,02 N). O fator de conversão de nitrogênio a proteína utilizado foi de 6,25. Os resultados foram expressos em porcentagem de proteína em relação a massa total de amostra.

### **3.3.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS**

A determinação de cinzas da amostra foi realizada conforme a técnica descrita pela AOAC (AOAC, 1999). Para isso, foram pesados cerca de 3 g de amostra em cadinhos de porcelana. O cadinho com a amostra foi submetido a temperatura de 550 °C em mufla (com aumento gradual da temperatura) até atingirem massa constante (cerca de 6 h). Ao final do processo, os cadinhos foram dispostos em um dessecador até atingir a temperatura ambiente e foram então pesados. Os resultados foram expressos como porcentagem com base na massa inicial de amostra.

### 3.3.5. DETERMINAÇÃO DOS CARBOIDRATOS TOTAIS

A determinação do teor de carboidratos totais na amostra foi efetuada por diferença entre 100 (percentual total) e o somatório dos percentuais encontrados para umidade, cinzas, proteína e gordura conforme descrito nas seções anteriores.

### 3.4. ENSAIOS DE EXTRAÇÃO

A amostra de beldroega seca foi submetida aos ensaios de extração (Tabela 1) por maceração e assistida com banho de ultrassom (SolidSteel ®) com potência fixa de 960 W e aquecimento até 35 °C. Para o processo de extração por maceração foram transferidos 2,5 g de amostra em 100 mL de solvente (etanol, água e misturas de etanol em água). O contato entre o solvente e a amostra foi mantido por 6 h, com auxílio de um agitador magnético, a temperatura ambiente (25 °C), devidamente coberto e protegido da luz. A mistura resultante da extração foi separada por filtração sob vácuo, seguida por evaporação do solvente sob vácuo. O extrato recuperado foi pesado e armazenado a - 18 °C.

Tabela 1. Condições experimentais dos processos de extração

Ensaio	Maceração	Ultrassom
	Etanol:Água (v/v)	Etanol:Água (v/v)
1	100:0	-
2	75:25	75:25
3	50:50	-
4	25:75	-
5	0:100	-

Para o processo de extração assistida com o banho de ultrassom foram transferidos 2,5 g de amostra a 100 mL de solvente etanol 75% em um béquer. O béquer foi inserido em um banho de ultrassom com potência fixa a temperatura ambiente, coberto e protegido da luz. O tempo de aplicação do ultrassom foi 30 min, de forma a minimizar o aumento de temperatura promovido pelo efeito da cavitação resultante da aplicação do ultrassom. A mistura resultante da extração foi separada por filtração sob vácuo. O extrato recuperado, foi pesado e armazenado em um frasco de vidro a - 18 °C.

### **3.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FENÓLICOS TOTAIS**

A determinação do teor de fenólicos totais foi realizada para a amostra seca e moída e para os extratos obtidos pelas técnicas de maceração e banho de ultrassom, de acordo com o método proposto por Singleton *et al.* (1999) com modificações. 2,5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu (1:10 v/v) foram adicionados a 0,5 mL de solução de extrato em metanol. Após 5 min, foram adicionados 2,0 mL de solução de carbonato de sódio (7,5% m/v). A mistura foi mantida na ausência de luz e temperatura ambiente por 2 h e em seguida, foi feita a leitura da absorbância da amostra a 760 nm. Ácido gálico foi utilizado como padrão e os resultados foram expressos como mg de equivalente de ácido gálico (AGE) por grama de extrato.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA BELDROEGA**

Os compostos bioativos extraídos de PANCs, especialmente os fenólicos e antioxidantes, podem atuar como realçadores de sabor, agentes estabilizantes e inibidores da oxidação lipídica em produtos alimentares, prolongando sua vida útil e reduzindo a necessidade de aditivos sintéticos (Iqbal *et al.*, 2022). Além disso, há evidências de que esses extratos naturais apresentam atividade antimicrobiana e anti-inflamatória, o que amplia suas possibilidades de aplicação em produtos nutracêuticos e terapêuticos. O uso de solventes verdes nesse processo representa um avanço significativo no contexto da bioeconomia, alinhando-se aos princípios da química sustentável e às exigências regulatórias contemporâneas voltadas à segurança alimentar e à proteção ambiental (Iqbal *et al.*, 2022)

O cultivo de PANCs também desempenha um papel crucial na promoção da segurança alimentar e na mitigação dos impactos das mudanças climáticas, visto que seu plantio contribui para a recuperação de ecossistemas degradados e a diversificação dos sistemas agrícolas. De acordo com Gomes *et al.* (2024), o fortalecimento do cultivo e consumo de espécies nativas e não convencionais se conecta diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, especialmente no que se refere à erradicação da fome, à promoção da agricultura sustentável e à conservação dos recursos naturais. Dessa forma, incentivar o uso das PANC não apenas valoriza a biodiversidade brasileira, mas também promove a autonomia alimentar das comunidades locais e a redução da

dependência de *commodities* agrícolas de alto impacto ambiental (De Souza *et al.*, 2023).

A *Portulaca oleracea L.*, popularmente conhecida como beldroega, é uma PANC reconhecida por sua elevada densidade nutricional, adaptabilidade agrônômica e potencial funcional no contexto da alimentação humana (Figura 1). Estudos recentes têm destacado sua relevância nutricional e fitoquímica, revelando uma composição rica em macronutrientes, vitaminas, minerais e compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Souza; Liberato; Teixeira, 2021). A espécie pertence à família Portulacaceae e apresenta características morfológicas que contribuem para sua sobrevivência em ambientes de estresse hídrico e luminoso, sendo classificada como uma planta suculenta devido ao elevado teor de água em sua estrutura, variando entre 88,5% e 94,78% (Li Y. *et al.*, 2024). Essa característica confere à beldroega uma notável resistência fisiológica, além de um valor alimentar significativo, uma vez que sua composição hídrica colabora para a manutenção da hidratação e para o baixo teor calórico, aspectos fundamentais em dietas equilibradas e funcionais.

Figura 1. Beldroega.



Fonte: Embrapa (2023)

O conteúdo de carboidratos na beldroega, representa aproximadamente 53,82% da matéria seca, constitui uma importante fonte energética de fácil metabolização, enquanto as proteínas (cerca de 14,23%) fornecem aminoácidos essenciais à síntese enzimática e ao reparo tecidual (Ferreira *et al.*, 2024). Além disso, a presença de lipídios (em torno de 4,08%) é marcada por um perfil de ácidos graxos insaturados, especialmente o ácido alfa-linolênico

(ALA, ômega-3), de reconhecida importância para o equilíbrio cardiovascular e a modulação de processos inflamatórios (Cannavacciuolo *et al.*, 2022). Essa composição confere à beldroega uma superioridade funcional em relação a diversas hortaliças convencionais, como o espinafre (*Spinacia oleracea*) e a alface (*Lactuca sativa*), consolidando-a como uma alternativa de alto valor biológico e nutricional (Uddin *et. al.*, 2014; Li *et. al.*, 2024).

Os minerais presentes na beldroega exercem funções fisiológicas essenciais e estão presentes em concentrações expressivas. O cálcio e o magnésio atuam de forma conjunta na manutenção da integridade óssea e na regulação neuromuscular, enquanto o ferro desempenha papel vital na síntese de hemoglobina e na prevenção de anemias carenciais. O potássio, por sua vez, é fundamental para o equilíbrio osmótico e o controle da pressão arterial (Botrel *et al.*, 2020). Tais elementos são modulados de acordo com as condições edafoclimáticas e práticas agronômicas, evidenciando uma variação composicional significativa conforme a luminosidade, temperatura e disponibilidade hídrica. Li *et al.* (2024) e Montoya-Harcía *et al.* (2023) demonstraram que a exposição da planta a estresses ambientais moderados pode induzir o acúmulo de metabólitos secundários e minerais, elevando sua capacidade antioxidante. Esse fenômeno reforça a importância de estratégias agronômicas de manejo sustentável que maximizem a qualidade nutricional da espécie.

Em relação às vitaminas, a beldroega se destaca pela ampla gama de micronutrientes hidrossolúveis e lipossolúveis. As vitaminas do complexo B (B1, B2 e B3) desempenham papel fundamental em reações enzimáticas relacionadas ao metabolismo energético e à manutenção da saúde neurológica (Souza; Liberato; Teixeira, 2021). A vitamina C, reconhecida por sua potente ação antioxidante, atua na neutralização de radicais livres e na regeneração de outros antioxidantes endógenos, além de ser essencial na síntese de colágeno e na cicatrização tecidual (Ferreira *et al.*, 2024). Já as vitaminas lipossolúveis A e E apresentam funções complementares: a vitamina A participa da diferenciação celular e da integridade epitelial, enquanto a vitamina E (tocoferol) protege os fosfolípidios das membranas celulares contra a peroxidação lipídica, reduzindo o risco de danos oxidativos e processos degenerativos (Cannavacciuolo *et al.*, 2022).

A interação sinérgica entre vitaminas, minerais e compostos fenólicos potencializa o efeito antioxidante global da planta. Essa sinergia bioquímica é determinante para a modulação do estresse oxidativo e para o fortalecimento das defesas imunológicas, aspectos que posicionam a beldroega como uma ferramenta dietética na promoção da saúde e na prevenção de DCNTs (Ferreira *et al.*, 2024). Souza *et al.* (2021) complementam essa visão ao destacar que os antioxidantes naturais presentes na espécie possuem elevada capacidade de inibir radicais livres e proteger estruturas celulares contra danos oxidativos, fenômeno crucial para a

manutenção da homeostase metabólica. Tais propriedades tornam a beldroega uma fonte promissora de compostos nutracêuticos, especialmente em dietas de cunho preventivo.

A composição da beldroega é condicionada por fatores ambientais e genéticos. Montoya-Harcía *et al.* (2023) observaram que condições de estresse hídrico e térmico aumentam a concentração de compostos antioxidantes, influenciando o perfil lipídico e o teor de fibras solúveis da planta. Essa mudança representa um mecanismo adaptativo relevante, permitindo à beldroega manter alta eficiência fisiológica mesmo sob condições edafoclimáticas adversas. Do ponto de vista agrônomo, tal característica favorece sua inclusão em sistemas de cultivo sustentáveis e de baixo custo, sobretudo em regiões semiáridas, contribuindo diretamente para políticas de segurança alimentar.

No campo da sustentabilidade, a *Portulaca oleracea* se configura como uma espécie estratégica devido à sua rusticidade, rápido crescimento e baixo requerimento de insumos agrícolas. Gomes *et al.* (2024) salientam que a diversificação alimentar com espécies não convencionais, como a beldroega, pode mitigar impactos ambientais e fortalecer sistemas alimentares resilientes diante das mudanças climáticas. Além disso, a planta apresenta potencial de utilização integral das folhas, caules e flores o que reduz o desperdício alimentar e amplia sua viabilidade econômica em cadeias produtivas locais. Essas características reforçam sua relevância não apenas como alimento nutritivo, mas como elemento de sustentabilidade e soberania alimentar.

Finalmente, a valorização da beldroega como alimento funcional exige a integração entre conhecimento tradicional e evidências científicas. Estudos como os de Souza *et al.* (2023) demonstram que a aceitação do consumidor em relação às PANCs está diretamente associada à difusão de informações sobre seus benefícios nutricionais e segurança alimentar. Assim, a *Portulaca oleracea*, com sua rica composição em macro e micronutrientes, elevado teor de compostos bioativos e ampla adaptabilidade, representa um grande potencial para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e estratégias nutricionais voltadas à saúde pública. Dessa forma, o estudo aprofundado de sua composição e propriedades bioquímicas não apenas amplia o repertório científico sobre alimentos funcionais, mas também contribui para a construção de modelos alimentares mais sustentáveis, diversificados e integrativos.

#### **4.2. COMPOSTOS BIOATIVOS PREDOMINANTES DA BELDROEGA**

A análise fitoquímica da *Portulaca oleracea* revela uma complexa matriz de compostos bioativos, incluindo alcaloides, flavonoides, polissacarídeos e ácidos fenólicos, responsáveis

por atividades biológicas amplamente documentadas (Chen *et al.*, 2023). A presença de dopamina e olareceína, conforme apontado por Li *et al.* (2024), contribui para propriedades neuroprotetoras e imunomoduladoras, enquanto compostos fenólicos exercem ações antioxidantes e anti-inflamatórias de grande relevância no contexto da prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. A combinação entre compostos primários e secundários, associada à elevada biodisponibilidade de nutrientes, reforça o potencial da beldroega como alimento funcional de impacto clínico e nutricional.

Os compostos fenólicos representam uma das classes químicas mais abundantes e estudadas na beldroega, desempenhando papel central na defesa antioxidante e no controle do estresse oxidativo celular. Esses compostos incluem ácidos fenólicos como o ácido caféico, gálico, ferúlico, p-cumárico e clorogênico, cuja estrutura aromática permite a doação de elétrons para neutralizar radicais livres, inibir a peroxidação lipídica e preservar a integridade de biomoléculas essenciais, como proteínas e ácidos nucleicos (Li *et al.*, 2024). Além de suas propriedades antioxidantes, esses fenólicos modulam enzimas envolvidas em processos inflamatórios, como a ciclo-oxigenase-2 e a lipoxigenase, reduzindo a síntese de eicosanoides pró-inflamatórios e contribuindo para o equilíbrio redox celular (Ghorani *et al.*, 2023).

Os flavonoides, por sua vez, constituem outra classe expressiva de compostos bioativos na beldroega, destacando-se pela presença de quercetina, apigenina, kaempferol e luteolina. Kumar *et al.* (2021) descrevem que essas moléculas possuem ampla atuação farmacológica, com destaque para seus efeitos vasoprotetores, hipoglicemiantes e anti-inflamatórios. A quercetina, por exemplo, é um potente quelante de metais de transição e modulador da atividade enzimática antioxidante, enquanto a luteolina exerce ação inibitória sobre mediadores inflamatórios. A combinação desses flavonoides contribui para a homeostase vascular e metabólica, reduzindo o risco de disfunções endoteliais e processos aterogênicos. Ademais, o sinergismo entre flavonoides e compostos fenólicos potencializa a capacidade antioxidante total da planta, reforçando a importância de abordagens de extração que preservem a integridade dessas moléculas (Ferreira *et al.*, 2024).

Os alcaloides, embora presentes em menores concentrações, desempenham papel relevante na complexidade fitoquímica da beldroega. Substâncias como dopamina e olareceína apresentam propriedades neuromoduladoras, analgésicas e protetoras neuronais, ampliando as possibilidades de uso da planta no desenvolvimento de produtos farmacêuticos e nutracêuticos. Zhao *et al.* (2022) destacam que esses alcaloides atuam como precursores de neurotransmissores e moduladores da neurotransmissão dopaminérgica, o que confere à espécie um potencial neuroprotetor notável. A integração desses compostos nitrogenados com outras classes

químicas, como fenólicos e ácidos graxos, cria um ambiente bioquímico sinérgico que contribui para a regulação de processos celulares e metabólicos.

Entre os compostos lipídicos, os ácidos graxos insaturados, especialmente ALA, destacam-se pela capacidade de modular respostas inflamatórias e proteger o sistema cardiovascular. Segundo Li *et al.* (2024), a concentração de ALA é superior à encontrada em diversas hortaliças convencionais, tornando-a uma das fontes vegetais mais promissoras desse ácido graxo essencial. O ALA atua na modulação de vias de sinalização inflamatórias, reduzindo a expressão de citocinas pró-inflamatórias e promovendo a síntese de eicosanoides anti-inflamatórios, como resolvinas e prostaglandinas benéficas. Além disso, sua contribuição na manutenção da fluidez das membranas neuronais confere benefícios cognitivos e neuroprotetores, fortalecendo o papel da beldroega como alimento funcional (Li *et al.*, 2024)

Os pigmentos naturais da beldroega, principalmente as betalaínas, divididas entre betacianinas e betaxantinas, constituem outra classe de compostos de grande interesse biotecnológico. Truc *et al.* (2023) descrevem que essas moléculas possuem intensa atividade antioxidante e fotoprotetora, atuando na neutralização de espécies reativas geradas pela exposição à radiação ultravioleta. Além disso, as betalaínas apresentam estabilidade em amplas faixas de pH e temperatura, o que favorece sua aplicação como corantes naturais em produtos alimentícios e cosméticos. Essa versatilidade tecnológica reforça a importância da padronização de processos de extração, uma vez que a integridade dos pigmentos pode ser comprometida por solventes inadequados ou condições oxidativas excessivas (Maravić *et al.*, 2022).

Os polissacarídeos isolados da beldroega também exercem papel fundamental em sua atividade biológica. Chen *et al.* (2023) apontam que essas macromoléculas possuem propriedades imunomoduladoras, antitumorais e prebióticas, atuando na ativação de macrófagos e linfócitos T, bem como na regulação da microbiota intestinal. Além disso, esses polissacarídeos podem agir em sinergia com compostos fenólicos e lipídios, aumentando a estabilidade oxidativa e a biodisponibilidade global dos extratos (Aguiar *et al.*, 2019).

A diversidade fitoquímica da *P. oleracea* é diretamente influenciada por fatores como condições edafoclimáticas e estágio de maturação. A escolha do solvente, sua polaridade e o método de extração determinam não apenas o rendimento, mas também a composição qualitativa dos extratos. Mustafa e Turner (2011) ressaltam que técnicas verdes, como a extração com líquidos pressurizados e o uso de solventes GRAS, representam abordagens eficazes para preservar compostos sensíveis à oxidação e minimizar impactos ambientais. Essas técnicas, quando otimizadas, permitem recuperar simultaneamente compostos fenólicos,

pigmentos e lipídios com alto grau de pureza e estabilidade química (Dias; Aguiar; Rostagno, 2021).

O sinergismo entre lipídios, polissacarídeos e compostos fenólicos confere à beldroega um perfil funcional complexo, capaz de potencializar a atividade antioxidante total da matriz vegetal. Essa interação ocorre tanto por mecanismos químicos como regeneração de radicais fenólicos quanto por processos físicos, como a formação de micelas e complexos moleculares que aumentam a solubilidade e a absorção intestinal dos compostos bioativos (Cavalcante *et al.*, 2023). A compreensão dessas interações é fundamental para o desenvolvimento de novos alimentos funcionais e formulações farmacêuticas que explorem o potencial integral da planta.

### **4.3. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES GRAS**

Os solventes classificados como GRAS representam um marco na transição dos métodos convencionais de extração de compostos bioativos para abordagens ambientalmente sustentáveis e seguras ao consumo humano. De acordo com Aguiar *et al.* (2019), esses solventes são reconhecidos por órgãos regulatórios, como a *Food and Drug Administration* (FDA), como substâncias que não oferecem risco à saúde quando utilizadas adequadamente em alimentos, cosméticos ou produtos farmacêuticos. O etanol, a água e as misturas hidroalcoólicas são exemplos clássicos de solventes GRAS amplamente empregados na extração de compostos fenólicos e antioxidantes, sendo valorizados por sua baixa toxicidade, biodegradabilidade e compatibilidade com matrizes naturais. Essa substituição de solventes orgânicos tóxicos, como o metanol e o hexano, por alternativas sustentáveis reflete uma mudança de paradigma na química de produtos naturais, orientando-se pelos princípios da química verde e pela busca de processos industriais mais limpos e economicamente viáveis (Mustafa; Turner, 2011).

A eficiência dos solventes GRAS na solubilização de compostos fenólicos está intrinsecamente relacionada às propriedades de polaridade, viscosidade e tensão superficial. O etanol apresenta uma polaridade intermediária que, quando combinado à água, gera misturas hidroalcoólicas capazes de otimizar a difusão dos solutos e a penetração do solvente nas células vegetais, promovendo uma extração mais seletiva e eficiente (Viganó *et al.*, 2016). Essa sinergia entre as características polares e apolares da mistura permite alcançar compostos de diferentes naturezas químicas, ampliando o espectro de moléculas bioativas extraídas. Além disso, a modificação da proporção água:etanol ajusta a seletividade do processo, permitindo a extração de compostos com diferentes pesos moleculares e solubilidades. Estudos têm demonstrado que misturas contendo de 50% a 75% de etanol são particularmente eficazes para maximizar o

rendimento de compostos fenólicos e flavonoides, além de preservar a estabilidade antioxidante dos extratos obtidos (Viganó *et al.*, 2016).

A capacidade desses solventes de extrair compostos bioativos, como polifenóis, carotenoides, alcaloides e óleos essenciais, sem comprometer a integridade química das moléculas, torna-os ferramentas valiosas na formulação de produtos funcionais. Além disso, o uso de solventes GRAS reduz a geração de resíduos perigosos e minimiza os custos associados ao tratamento e descarte de solventes tóxicos. Esse aspecto ecológico, aliado à compatibilidade com os padrões de segurança alimentar, reforça a importância desses solventes como agentes de inovação na biotecnologia de produtos naturais (Cavalcante *et al.*, 2023).

As técnicas de extração aplicadas ao uso de solventes GRAS evoluíram substancialmente com o avanço das tecnologias assistidas por energia, como a extração ultrassônica e os fluidos pressurizados. Segundo Dias *et al.* (2021), métodos como maceração e percolação, embora simples e amplamente utilizados, apresentam limitações quanto ao tempo de extração e à eficiência de rendimento. Em contrapartida, a aplicação de técnicas assistidas por ultrassom ou líquidos pressurizados possibilita maior ruptura das paredes celulares, favorecendo a difusão dos compostos fenólicos e reduzindo o tempo de processamento. Essas abordagens permitem o uso de menores volumes de solvente e temperaturas moderadas, garantindo a integridade química dos compostos sensíveis ao calor e, portanto, elevando o valor biológico dos extratos obtidos (Mustafa; Turner, 2011).

A extração assistida por ultrassom baseia-se principalmente na cavitação acústica, fenômeno no qual microbolhas formam-se, crescem e colapsam em meio líquido, liberando energia localizada capaz de romper estruturas celulares e favorecer a difusão de metabólitos. A ocorrência e intensidade desse efeito, contudo, dependem das condições operacionais, como frequência, potência e tempo de sonicação, bem como da natureza e viscosidade do solvente. Quando otimizada, a cavitação promove maior contato soluto-solvente e aumenta a eficiência de extração. Estudos mostram que solventes hidroalcoólicos ampliam esse efeito, resultando em maior recuperação de polifenóis e antocianinas (Wang *et al.*, 2024).

Parâmetros operacionais críticos, como temperatura, razão solvente/amostra e polaridade, exercem papel decisivo na seletividade e estabilidade dos compostos bioativos. Souza (2024) relatou que a utilização de etanol 75% sob ação ultrassônica resultou em um rendimento de 24,58 mg GAE/g de fenólicos totais, configurando um dos maiores valores obtidos em comparações experimentais. O aumento da temperatura pode favorecer a solubilização e difusão dos compostos, mas também acelerar reações de degradação, especialmente para fenólicos termolábeis. Dessa forma, o controle preciso dos parâmetros de

processo é essencial para equilibrar a eficiência de extração e a integridade estrutural das biomoléculas (Souza, 2024).

O desenvolvimento de novos sistemas solventes verdes, como os solventes eutéticos naturais (NADES), também é promissor. Esses sistemas, resultantes da combinação de compostos naturais como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos, apresentam propriedades ajustáveis de polaridade e viscosidade, além de serem biodegradáveis e não tóxicos (García-Roldán *et al.*, 2023). Estudos recentes mostram que o uso de NADES na extração de compostos fenólicos a partir de resíduos agroindustriais pode alcançar rendimentos comparáveis ou superiores aos obtidos com etanol, promovendo uma economia circular e agregando valor a subprodutos agrícolas (Zhou *et al.*, 2023). Dessa forma, os solventes GRAS e seus derivados inovadores consolidam-se como pilares de um novo paradigma tecnológico orientado pela sustentabilidade, segurança e eficiência.

#### **4.4. APLICAÇÃO INDUSTRIAL E SUSTENTÁVEL DA BELDROEGA**

A complexa matriz de metabólitos secundários torna a beldroega uma alternativa promissora à substituição de aditivos sintéticos, como os antioxidantes butil-hidroxitolueno (BHT) e butil-hidroxianisol (BHA), utilizados na conservação de alimentos industrializados. A substituição por extratos naturais derivados da beldroega não apenas prolonga a vida útil dos produtos alimentícios, mas também reduz riscos toxicológicos e contribui para a formulação de alimentos funcionais com benefícios comprovados à saúde (Cavalcante *et al.*, 2023). Essa lógica de reaproveitamento, ancorada na biotecnologia verde, transforma subprodutos agrícolas em insumos de valor industrial, promovendo a integração entre eficiência energética, sustentabilidade e inovação tecnológica.

A aplicação dos extratos de *Portulaca oleracea* em formulações alimentícias tem sido objeto de amplas investigações devido à sua capacidade de atuar como aditivo antioxidante natural e realçador de sabor. Estudos apontam que a adição de extratos etanólicos da beldroega em óleos vegetais e carnes processadas resulta em significativa inibição da oxidação lipídica, retardando o ranço e preservando o valor nutricional (Chen *et al.*, 2023). Além disso, sua incorporação em bebidas funcionais e produtos panificados tem demonstrado potencial de agregar valor comercial e nutracêutico, alinhando-se à tendência de consumo consciente e à demanda por produtos naturais e saudáveis (Ferreira *et al.*, 2024).

No campo farmacêutico e cosmético, a beldroega revela-se uma fonte versátil de substâncias bioativas, especialmente polissacarídeos, alcaloides e ácidos graxos poli-

insaturados com reconhecido efeito terapêutico. Cannavacciuolo *et al.* (2022) evidenciam que os lipídios polares extraídos da planta exibem pronunciada atividade anti-inflamatória e regeneradora, sendo aplicáveis na formulação de pomadas cicatrizantes, cremes dermatológicos e fármacos de ação neuroprotetora. Os extratos da beldroega também apresentam efeito inibitório sobre mediadores inflamatórios como prostaglandinas e citocinas, o que os torna candidatos potenciais para o desenvolvimento de terapias fitofarmacológicas voltadas a doenças crônicas inflamatórias. Paralelamente, a compatibilidade dos extratos com sistemas biológicos, associada à ausência de toxicidade, reforça sua viabilidade para uso em cosméticos e produtos farmacêuticos (Chen *et al.*, 2023).

A multifuncionalidade da beldroega insere-se de forma exemplar no contexto da economia circular e da bioeconomia sustentável, uma vez que seus resíduos vegetais, frequentemente descartados após o processamento alimentar, podem ser reaproveitados para a obtenção de produtos de alto valor agregado. Segundo Aguiar *et al.* (2019), os princípios de extração em múltiplas etapas sob alta pressão e o uso de solventes verdes, como os NADES, permitem recuperar diferentes frações de compostos fenólicos e lipídicos de forma sequencial e otimizada. Essa abordagem reduz desperdícios, maximiza o aproveitamento da biomassa e diminui os impactos ambientais associados à produção industrial. Além disso, a extração de compostos bioativos a partir de subprodutos agrícolas da beldroega contribui para a valorização de cadeias produtivas locais, promovendo o desenvolvimento econômico sustentável e incentivando práticas de cultivo agroecológico.

No contexto da segurança alimentar e nutricional, a beldroega representa uma solução biológica eficiente frente aos desafios contemporâneos de escassez de alimentos e mudanças climáticas. Gomes *et al.* (2024) afirmam que as PANCs, como a beldroega, desempenham um papel essencial na diversificação dos sistemas alimentares e na mitigação dos impactos ambientais, ao demandarem poucos recursos hídricos e insumos químicos. A composição nutricional da *Portulaca oleracea* inclui níveis significativos de ferro, cálcio, magnésio, vitaminas do complexo B, ácido ascórbico e ácidos graxos essenciais, elementos fundamentais para o combate à desnutrição e à carência de micronutrientes. O incentivo ao consumo de PANCs contribui, portanto, para o cumprimento das metas da Agenda 2030 da ONU, especialmente no que se refere à erradicação da fome e à promoção de padrões sustentáveis de produção e consumo (De Souza *et al.*, 2023).

De acordo com Souza *et al.* (2023), as barreiras culturais e a neofobia alimentar ainda limitam o consumo de plantas não convencionais, sendo necessário o desenvolvimento de estratégias de comunicação e programas de capacitação que promovam seu reconhecimento

como alimento de alto valor nutricional e ecológico. A atuação de instituições como a Embrapa (2023) e universidades públicas é fundamental para disseminar informações sobre o cultivo, processamento e utilização da beldroega, fomentando a integração entre ciência, tecnologia e saberes tradicionais.

Gomes *et al.* (2024) e De Souza *et al.* (2023) reforçam que o fortalecimento do consumo e cultivo de espécies não convencionais contribui diretamente para a segurança alimentar, a diversificação dos sistemas agrícolas e a redução da dependência de *commodities* de alto impacto ambiental. O uso de solventes GRAS na extração de compostos bioativos da beldroega não apenas redefine as práticas industriais, mas também simboliza a transição para uma ciência comprometida com o equilíbrio entre progresso tecnológico, conservação ambiental e bem-estar humano.

A crescente valorização das PANCs representa uma inflexão paradigmática na busca por fontes sustentáveis de compostos bioativos e micronutrientes de alta relevância biotecnológica. Tais espécies reúnem uma combinação singular de rusticidade, adaptabilidade e riqueza fitoquímica, configurando-se como alternativas promissoras diante da vulnerabilidade dos sistemas agrícolas convencionais. No contexto de crise ambiental e alimentar, o resgate do uso de PANC assume não apenas valor nutricional, mas também sociocultural e ecológico, articulando ciência, biodiversidade e soberania alimentar (Ferreira *et al.*, 2024).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA BELDROEGA

Em termos da composição centesimal, os resultados obtidos para a matéria prima seca e moída estão apresentados na Tabela 2. O teor de proteína obtidos para a farinha de beldroega foi ligeiramente inferior quando comparado com os resultados relatados por Botrel *et al.* (2020) de 15,71% (recalculado para base seca). Os vegetais de maneira geral não são fontes importantes de proteínas, entretanto muitas PANC, como o caruru, peixinho, capuchinha, major gomes entre outras, apresentam teores consideráveis de proteínas (Botrel *et al.*, 2020).

Em relação ao teor de lipídios, 4,08%, foi ligeiramente inferior ao reportado por Botrel *et al.* (2020), que verificou um teor de lipídios de 5,44% (recalculado para base seca). A fração lipídica da beldroega é rica em ácidos graxos como o ácido  $\alpha$ -linolêlico, com perfil lipídico polar variando de oxilipinas lineares e cíclicas a lipídios de alto peso molecular, incluindo glicolipídios, fosfolipídios e esfingolipídios (Cannavacciuolo *et al.*, 2022).

Tabela 2. Composição centesimal (% m/m) da farinha de beldroega

Parâmetro	Resultado (%)
Proteína	14,23 ± 0,98
Lipídio	4,08 ± 0,10
Umidade	6,99 ± 0,04
Cinzas	20,88 ± 0,14
Carboidratos	53,82

O teor de umidade da amostra seca e moída de 6,99% está intimamente relacionada as condições de secagem que foram utilizadas durante o processamento, e forneceu uma farinha de beldroega estável quando comparada a beldroega fresca que é um material altamente perecível. Quanto ao teor de carboidratos, foi próximo ao reportado por Botrel *et al.* (2020) (56,81%, recalculado como a soma do teor de carboidratos mais o teor de fibra alimentar em base seca). Cabe ressaltar que os polissacarídeos da beldroega são os constituintes primários do extrato bruto (fração de carboidratos) que apresentam diversas atividades biológicas, incluindo efeitos antioxidantes, antitumorais, imunoestimulantes e protetores intestinais (Chen *et al.*, 2023).

## 5.2. ENSAIOS DE EXTRAÇÃO

Os resultados obtidos para os ensaios de extração da amostra de beldroega seca e moída estão apresentados na Tabela 2. Os valores de rendimento global para extração por maceração (6 h) variaram de 5,10 a 27,02% m/m, sendo o solvente hidroalcoólico 50% mais eficiente nas extrações, conforme relatado anteriormente como um solvente adequado para obter altos rendimentos de extração em várias folhas (Souza *et al.*, 2019; Maravić *et al.*, 2022). Aguiar *et al.* (2019) observaram que o uso de misturas de solventes promove o aumento da solubilidade e da interação dos compostos-alvo com os solventes de extração em uma mistura binária. Nesse caso, um solvente é responsável pela solubilidade do analito e o outro pela dessorção dos compostos ligados a matriz vegetal.

Tabela 2. Rendimento global e teor de fenólicos dos extratos em diferentes condições de composição de solvente.

	<b>Ensaio</b>	<b>Etanol:Água (v/v)</b>	<b>Rendimento global (%)</b>	<b>Teor de fenólicos (mg EAG/g)</b>
	1	100:0	5,10 ± 0,59	2,89 ± 0,01
	2	75:25	25,22 ± 2,01	22,45 ± 0,29
<b>Maceração</b>	3	50:50	27,02 ± 1,09	18,55 ± 0,05
	4	25:75	11,08 ± 0,65	4,02 ± 0,01
	5	0:100	19,01 ± 0,23	5,82 ± 0,04
<b>Ultrassom</b>	6	75:25	27,90 ± 0,93	24,58 ± 1,09

O processo de extração assistida pelo banho ultrassom (75% de etanol e 30 min de aplicação) resultou um rendimento de extração de 27,90 %. O rendimento da extração assistida pelo banho de ultrassom apresentou valores próximos aos obtidos na condição de maceração (50:50 e 75:25) durante 6 h.

Sanchez-Camargo *et al.* (2016), ao extrair algas por extração com líquidos pressurizados, obtiveram valores de rendimento global cerca de três vezes maiores em extratos aquosos em comparação aos etanólicos, o que pode estar relacionado a natureza dos componentes extraídos. Esses componentes geralmente se referem a compostos fenólicos ligados a proteínas ou açúcares, taninos e alguns ácidos orgânicos. Os baixos resultados de rendimento global obtidos com o uso de etanol estão relacionados ao fato de que esse solvente é seletivo para compostos de polaridade moderada (Viganó *et al.*, 2016).

O extrato etanoico (ensaio 1) apresentou o menor rendimento de extração de fenólicos, o que evidencia a incapacidade de o etanol recuperar os compostos fenólicos das folhas de beldroega em função de limitações quanto a sua polaridade. Tal resultado já era esperado uma vez que está de acordo com o usualmente reportado na literatura (Aguiar *et al.*, 2019; Viganó *et al.*, 2016) para extração de compostos fenólicos a partir de plantas.

Os maiores rendimentos de extração de compostos fenólicos totais foram obtidos com o solvente hidroalcoólico 75%. Esses resultados indicam que os compostos fenólicos presentes nas folhas de beldroega exibem alta polaridade. A extração por maceração utilizando o solvente hidroalcoólico 75% apresentaram um alto rendimento de extração de fenólicos, consistente com os achados relatados por outros autores ao extrair compostos fenólicos de matrizes vegetais (Aguiar *et al.*, 2019; Viganó *et al.*, 2016). De acordo com Mustafa e Turner (2011), o

desempenho superior da mistura de etanol e água deve-se principalmente ao aumento da solubilidade e difusividade dos fenólicos nesse solvente, em especial a altas temperaturas, bem como a redução da viscosidade, tensão superficial e ruptura de ligações de Van der Waals, de hidrogênio e dipolo-dipolo, resultando em maiores rendimentos de extração.

O rendimento de recuperação dos compostos fenólicos assistida pelo banho de ultrassom foi ligeiramente superior ao observado para a condição de maceração com o mesmo solvente. O aumento na recuperação de compostos fenólicos possivelmente está associado ao processo de cavitação resultante da aplicação das ondas de ultrassom na mistura (solvente e amostra), que influencia positivamente o processo de transferência de massa pela ruptura celular, resultando em última instância num incremento dos rendimentos de extração (Dias *et al.*, 2021).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo acerca do desenvolvimento de processos de extração com solventes GRAS para obtenção de compostos fenólicos a partir de PANC, com foco na *Portulaca oleracea L.*, permitiu compreender que o uso de solventes verdes, como etanol e água, constitui uma alternativa altamente viável e sustentável para a valorização de PANC. Os resultados e análises demonstraram que a beldroega apresenta expressivo potencial nutricional, com teores relevantes de compostos fenólicos, capazes de conferir propriedades antioxidantes.

A utilização de solventes GRAS não apenas otimiza o rendimento e a seletividade dos compostos bioativos, mas também minimiza os impactos ambientais e elimina riscos toxicológicos associados a solventes orgânicos convencionais. Esse avanço metodológico reforça o alinhamento do estudo aos princípios da química verde e da bioeconomia sustentável, destacando-se como um modelo aplicável à indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica. Além disso, verificou-se que os métodos assistidos por ultrassom proporcionam maior eficiência extrativa, reduzindo o tempo de processamento e preservando compostos termolábeis.

Com base nos resultados obtidos, a condição experimental de extração por maceração com o uso de solvente hidroalcoólico a 75%, apresentou rendimento de 22,45 mg AGE/g de amostra. Essa alta eficiência pode ser explicada pela combinação da água e etanol, que favorece tanto a solubilidade quanto a difusividade dos compostos fenólicos. O uso da extração assistida por banho de ultrassom, com 75% de etanol e 30 minutos de aplicação, resultou em um rendimento ligeiramente superior (24,58 mg AGE/g amostra), devido ao fenômeno de cavitação, que aumenta a transferência de massa e facilita o acesso do solvente aos solutos. Por outro lado, o etanol puro apresentou o menor rendimento, evidenciando a importância da

polaridade do solvente para a extração eficaz dos fenólicos. Dessa forma, o solvente hidroalcoólico 75%, especialmente quando combinado com ultrassom, se destaca como a melhor condição experimental para maximizar a recuperação desses compostos bioativos a partir da beldroega.

Como sugestão para futuros estudos pode-se destacar avaliação comparativa da eficiência de diferentes solventes verdes e técnicas emergentes, como a extração com NADES e o uso de fluidos supercríticos, visando otimizar o rendimento e a pureza dos compostos bioativos. Além disso, investigações sobre a estabilidade dos extratos em formulações alimentícias e cosméticas também são necessários, bem como estudos de viabilidade econômica e escalonamento industrial. Tais abordagens poderão consolidar ainda mais o papel das PANC, especialmente da beldroega, como fontes estratégicas para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e seguras na indústria de alimentos e produtos naturais.

## 7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. C. de; MACHADO, A. P. da F.; ANGOLINI, C. F. F.; MORAIS, D. R. de; BASEGGIO, A. M.; EBERLIN, M. N.; MARTINEZ, J. Sequential high-pressure extraction to obtain capsinoids and phenolic compounds from biquinho pepper (*Capsicum chinense*). *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 150, p. 112-121, 2019

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Arlington, VA: AOAC, 1999

BOTREL, N.; FREITAS, S.; FONSECA, M. J.; MELO, R. A.; MADEIRA, N. Valor nutricional de hortaliças folhosas não convencionais cultivadas no Bioma Cerrado. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 23, e2018174, 2020.

CANNAVACCIUOLO, C.; NAPOLITANO, A.; HEISS, E. H.; DIRSCH, V. M.; PIACENTE, S. *Portulaca oleracea*, a rich source of polar lipids: Chemical profile by LC-ESI/LTQOrbitrap/MS/MSn and in vitro preliminary anti-inflammatory activity. *Food Chemistry*, v. 388, 132968, 2022.

CAVALCANTE, D. N.; CORRÊA, R. F.; CAMPELO, P. H.; SANCHES, E. A.; BEZERRA, J. de A. Essential oils from unconventional food plants (*Murraya* spp., *Ocimum* spp., *Piper* spp.) as alternative food flavorings. *Food Chemistry Advances*, v. 3, 100481, 2023.

CHEN, M.; LI, D.; MENG, X.; SUN, Y.; LIU, R.; SUN, T. Review of isolation, purification, structural characteristics and bioactivities of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128565, 2023.

DIAS, A. L. B.; AGUIAR, A. C. de; ROSTAGNO, M. A. Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound: Current status and trends. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 74, 105584, 2021.

EL-MASSRY, K. F.; EL-GHORAB, A. H.; FAROUK, A. Antioxidant activity and volatile components of Egyptian *Artemisia judaica* L. *Food Chemistry*, v. 79, n. 3, p. 331-336, 2002. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00164-4.

EMBRAPA. Multimídia: Banco de imagens. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens> Acesso em: 12 jul. 2023.

FERREIRA, C. P.; LIMA, M. D. C. de; SILVA, J. G. da; ARAUJO, N. M. P. de. Nutritional composition, phenolic compounds and biological activities of selected unconventional food plants. *Food Research International*, 114643, 2024. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114643.

GARCÍA-ROLDÁN, P.; PIRIÓU, M.; JAUREGI, M. Natural deep eutectic solvents as a green extraction of polyphenols from spent coffee ground with enhanced bioactivities. *Food Chemistry*, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36714731/>.

GOMES, S. M.; CARVALHO, A. M. et al. Nexus among climate change, food systems, and human health: An interdisciplinary research framework in the Global. *Environmental Science & Policy*, v. 161, 103885, 2024. DOI: 10.1016/j.envsci.2024.103888.

IQBAL, Y.; PONNAMPALAM, E. N.; COTTRELL, J. J.; SULERIA, H. A.; DUNSHEA, F. R. Extraction and characterization of polyphenols from non-conventional edible plants and their antioxidant activities. *Food Research International*, v. 157, 111205, 2022. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111205.

LI, L.; LV, J.; WANG, X.; LI, X.; GUO, D.; WANG, L.; ZHANG, N.; JIA, Q. Green extraction of polyphenols from *Elaeagnus angustifolia* L. using natural deep eutectic solvents and evaluation of bioactivity. *Molecules*, v. 29, n. 11, p. 2412, 2024. DOI: 10.3390/molecules29112412. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/29/11/2412>.

MARAVIĆ, N.; TESLIĆ, N.; NIKOLIĆ, D.; DIMIĆ, I.; ŠEREŠ, Z.; PAVLIĆ, B. From agricultural waste to antioxidant-rich extracts: Green techniques in extraction of polyphenols from sugar beet leaves. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 28, 100728, 2022. DOI: 10.1016/j.scp.2022.100728.

MENG, L.; DING, P.; TAN, Y.; ZHANG, Y.; ZHAO, J. Study on the ultrasonic-assisted extraction process of anthocyanin from purple cabbage with deep eutectic solvent. *Molecules*, 2025, n. 6, p. 1281. DOI: 10.3390/molecules30061281. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/45dA2NM7/>.

MINELLO, L.; SARTORI, V. C.; TOUGUINHA, L. B. A. Estudo comparativo de diferentes métodos de extração de compostos bioativos de plantas alimentícias não convencionais (PANC). *Research, Society and Development*, v. 10, n. 17, e190101724210, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/24210/21480/289927>.

MUSTAFA, A.; TURNER, C. Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. *Analytica Chimica Acta*, v. 703, n. 1, p. 8-18, 2011.

PEREIRA, L. V.; SALVADOR, M. R.; SILVA, B. S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; DELLA LUCIA, C. M.; TEIXEIRA, R. D. B. L.; CARDOSO, L. de M. Nutritional aspects of non-conventional edible plants from Brazil: Caruru (*Amaranthus spinosus* L.) and trapoeraba

(*Commelina benghalensis*). *Food Research International*, v. 166, 112583, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112583.

SÁNCHEZ-CAMARGO, A. D. P.; MONTERO, L.; STIGER-POUVREAU, V.; TANNIOU, A.; CIFUENTES, A.; HERRERO, M.; IBÁÑEZ, E. Considerations on the use of enzyme-assisted extraction in combination with pressurized liquids to recover bioactive compounds from algae. *Food Chemistry*, v. 192, p. 67–74, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.098.

SEAL, T.; PILLAI, B.; CHAUDHURI, K. Wild edible plants: Antioxidant activities in different solvents and quantification of phenolic compounds by HPLC. *Asian Journal of Chemistry*, v. 34, n. 8, 2022. DOI: 10.14233/ajchem.2022.23825. Disponível em: <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23825>.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In: *Methods in Enzymology*. v. 299. San Diego: Academic Press, 1999. p. 152-178.

SOUZA, A. R. C. de; STEFANOV, S.; BOMBARDELLI, M. C. M.; CORAZZA, M. L.; STATEVA, R. P. Assessment of composition and biological activity of *Arctium lappa* leaves extracts obtained with pressurized liquid and supercritical CO<sub>2</sub> extraction. *Journal of Supercritical Fluids*, v. 152, 104573, 2019. DOI: 10.1016/j.supflu.2019.104573.

SOUZA, J. V. A.; LIBERATO, M. D. C. T. C.; TEIXEIRA, L. D. da S. Do mato à mesa: um estudo bibliográfico acerca do potencial nutricional das plantas alimentícias não-convencionais: *Portulaca oleracea* L. e *Tropaeolum majus* L. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 40017-40040, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n4-458.

SOUZA, P. G. de; AZEREDO, D. R. P.; SILVA, T. T. da; CARNEIRO, C. da S.; TEODORO, A. J.; AYRES, E. M. M. Food neophobia, risk perception and attitudes associations of Brazilian consumers towards non-conventional edible plants and research on sale promotional strategies. *Food Research International*, v. 167, 112628, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112628.

UDDIN, M. K.; JURAIMI, A. S.; HOSSAIN, M. S.; NAHAR, A.; ALI, M. E.; RAHMAN, M. M. Purslane Weed (*Portulaca oleracea*): A Prospective Plant Source of Nutrition, Omega-3 Fatty Acid, and Antioxidant Attributes. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1-6, 2014. DOI: 10.1155/2014/951019.

VIGANÓ, J.; BRUMER, I. Z.; BRAGA, P. A. de C.; SILVA, J. K. da; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; REYES REYES, F. G.; MARTÍNEZ, J. Pressurized liquids extraction as an alternative process to readily obtain bioactive compounds from passion fruit rinds. *Food and Bioprocess Processing*, v. 100, p. 382–390, 2016. DOI: 10.1016/j.fbp.2016.08.011.

WANG, Z.; TIAN, Y.; YANG, M.; YANG, J.; WANG, Y.; TAO, L.; SHENG, J.; SHI, C. Extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* Lam. leaves with ultrasonic-assisted deep eutectic solvents. *Frontiers in Nutrition*, v. 11, 2024, article 1405128. DOI: 10.3389/fnut.2024.1405128. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2024.1405128/full>.

ZHOU, M.; FAKAYODE, O. A.; LI, H. Green extraction of polyphenols via deep eutectic solvents and assisted technologies from agri-food by-products. *Molecules*, v. 28, n. 19, 2023, article 6852. DOI: 10.3390/molecules28196852. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10574355/>.