



ANA BEATRIZ SILVA ARAÚJO

**POTENCIAL BIOATIVO E IMPACTO DA REFRIGERAÇÃO
E DO PROCESSAMENTO MÍNIMO EM FOLHAS DE *Sonchus
oleraceus***

**LAVRAS – MG
2024**

ANA BEATRIZ SILVA ARAÚJO

**POTENCIAL BIOATIVO E IMPACTO DA REFRIGERAÇÃO E DO
PROCESSAMENTO MÍNIMO EM FOLHAS DE *Sonchus oleraceus***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutora.

Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas
Orientador

Profa. Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho
Co-orientadora

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Araújo, Ana Beatriz Silva.

Potencial bioativo e impacto da refrigeração e do
processamento mínimo em folhas de *Sonchus oleraceus* / Ana
Beatriz Silva Araújo. - 2024.

79 p.

Orientador(a): Eduardo Valério de Barros Vilas Boas.

Coorientador(a): Elisângela Elena Nunes Carvalho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Plantas silvestres comestíveis. 2. Serralha. 3. Qualidade pós
colheita. I. Vilas Boas, Eduardo Valério de Barros. II. Carvalho,
Elisângela Elena Nunes. III. Título.

ANA BEATRIZ SILVA ARAÚJO

**POTENCIAL BIOATIVO E IMPACTO DA REFRIGERAÇÃO E DO
PROCESSAMENTO MÍNIMO EM FOLHAS DE *Sonchus oleraceus***

**BIOACTIVE POTENTIAL AND IMPACT OF REFRIGERATION AND MINIMAL
PROCESSING ON LEAVES OF *Sonchus oleraceus***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 24 de maio de 2024.

Dra. Éllen Cristina de Souza - UFLA
Dra. Luciane Vilela Resende - UFLA
Dra. Izabel Cristina dos Santos - EPAMIG
Dra. Graciele da Silva Campelo Borges - UFPel

Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas
Orientador

Profa. Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho
Co-orientadora

**LAVRAS – MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por terem me dado sabedoria, força, coragem e discernimento para a conclusão do doutorado e por terem colocado pessoas maravilhosas ao longo desta trajetória. Agradecer ao meu pai e familiares pelo apoio, carinho e escuta... amo vocês!

Agradecer a rede de apoio que se criou ao longo de todos esses anos no laboratório. Estou há 10 anos na Pós colheita, desde a atividade vivencial, até o doutorado e não imaginei que fosse chegar tão longe. Em especial, gostaria de agradecer à Professora Elisângela que, desde a atividade vivencial, acreditou no meu potencial e sempre me incentivou a continuar, que foi além do laboratório e sala de aula e se tornou uma mãe para mim. Amo você! Palavras e gestos nunca serão suficientes para agradecer tudo o que fez e faz por mim.

Gostaria de agradecer “aos membros do grupo”, Nathane Resende, Rafael Carvalho, Elídio Zitha, Gilson Machado, Carlos Henrique Milagres, Danilo Abreu, Maria de Fátima Santos, às técnicas Creuza Pedroso e Pâmela Mattioli que me ajudaram nas rotinas do laboratório, pela amizade e companheirismo que tornaram esse doutorado um pouco mais leve.

Agradecer pelas amizades que a UFLA me proporcionou ao longo de todos esses anos, não vou listar todos os nomes, para não ser injusta e esquecer de alguém, sou muito privilegiada por ter conhecido pessoas fantásticas em meio ao mundo acadêmico. Gostaria de agradecer as minhas amigas de infância, Lidiane e Fernanda, que sempre se fazem presentes, em todos os momentos, apesar da distância, são meu maior suporte, riqueza e porto seguro.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Eduardo, pela oportunidade, pelos conhecimentos e oferecer condições e recursos para a execução do trabalho, meu muito obrigada. A todas as professoras e pesquisadoras que compõem a banca, obrigada pelo aceite e em especial um agradecimento à professora Graciele, que me ajudou e esclareceu dúvidas sobre as análises de digestão *in vitro*.

Agradecer as instituições de fomento, CAPES, pela bolsa que me permitiu seguir como pesquisadora durante esses anos e CNPq (404716/2021-0 e 307157/2022-9), FAPEMIG (PPM-00355-17) e CAPES (88881.068456/2014-01) pelos recursos para a execução do projeto. Agradecer a UFLA, ao Departamento e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos por toda estrutura, aos professores, técnicos, equipe de limpeza, que diretamente ou indiretamente contribuíram para a conclusão do meu doutorado, muito obrigada a todos.

E agradecer a minha “versão do passado”, por ter suportado todo esse processo e não ter desistido, nós conseguimos!

RESUMO

Investigou-se, neste estudo, *Sonchus oleraceus*, conhecida como serralha, uma planta silvestre comestível com uso tradicional em comunidades rurais, tanto como alimento quanto medicamento. Foi realizado um estudo inédito para otimizar a extração de compostos fenólicos das folhas de serralha e avaliar seu potencial antioxidante, incluindo a resistência desses compostos à digestão gastrointestinal *in vitro*. A combinação de metanol e etanol (70/30 v/v) mostrou-se ideal para extrair compostos fenólicos totais, identificando ácidos gálico e clorogênico como principais componentes. As folhas de serralha revelaram-se ricas em antioxidantes como compostos fenólicos (1257,94±20,56 mg EAG/100g), vitamina C (848,29±12,22 mg/100g) e carotenoides. Ácido tânico e oxálico foram quantificados como fatores antinutricionais. Após simulação de digestão *in vitro*, foram identificados compostos fenólicos e observada atividade antioxidante nas folhas de serralha. Além disso, o estudo explorou o efeito da temperatura de armazenamento de folhas de serralha e o impacto do corte da folha sobre a qualidade do produto minimamente processado. A temperatura de 5°C foi determinada como ideal, preservando a qualidade das folhas por até 10 dias, enquanto as temperaturas 0°C e 10°C afetaram negativamente sua integridade e composição química. O tamanho de corte das folhas também influenciou na durabilidade durante o armazenamento refrigerado, com frações mais longas mostrando maior resistência. A serralha possui potencial significativo como fonte de compostos bioativos, seja para ser utilizada em uma alimentação saudável, seja como matéria-prima para as indústrias farmacêutica e de alimentos. A pesquisa sublinha a importância de estratégias adequadas de processamento e armazenamento para maximizar a vida útil e conservar as propriedades nutricionais dessa planta não convencional.

Palavras-chave: Plantas silvestres comestíveis; serralha; compostos fenólicos; atividade antioxidante; qualidade pós-colheita.

ABSTRACT

In this study, *Sonchus oleraceus*, known as common sowthistle, a wild edible plant traditionally used in rural communities both as food and medicine, was investigated. An unprecedented study was conducted to optimize the extraction of phenolic compounds from sowthistle leaves and evaluate their antioxidant potential, including the resistance of these compounds to in vitro gastrointestinal digestion. A methanol and ethanol combination (70/30 v/v) proved to be ideal for extracting total phenolic compounds, identifying gallic and chlorogenic acids as major components. Sowthistle leaves were found to be rich in antioxidants such as phenolic compounds (1257,94±20.56 mg GAE/100g), vitamin C (848,29±12.22 mg/100g), and carotenoids. Tannic and oxalic acids were quantified as antinutritional factors. After in vitro digestion simulation, phenolic compounds were identified, and antioxidant activity was observed in sowthistle leaves. Furthermore, the study explored the effect of storage temperature on sowthistle leaves and the impact of leaf cutting on the quality of minimally processed products. A temperature of 5°C was determined to be ideal, preserving leaf quality for up to 10 days, while temperatures of 0°C and 10°C negatively affected their integrity and chemical composition. The size of leaf cuts also influenced durability during refrigerated storage, with longer fractions showing greater resilience. Sowthistle demonstrates significant potential as a source of bioactive compounds, whether for use in healthy diets or as raw material for pharmaceutical and food industries. The research underscores the importance of proper processing and storage strategies to maximize shelf life and preserve the nutritional properties of this unconventional plant.

Keywords: Edible wild plants; sowthistle; phenolic compounds; antioxidant activity; postharvest quality.

INDICADORES DE IMPACTO

Socialmente, o presente estudo promove a diversificação alimentar, contribuindo para a segurança alimentar e saúde pública. Tecnicamente, identifica novas fontes de compostos bioativos para as indústrias de alimentos e farmacêutica. Economicamente, abre oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos e mercados, valorizando as plantas alimentícias não convencionais. Culturalmente, resgata e valoriza o conhecimento tradicional sobre o uso de plantas na alimentação, fortalecendo identidades locais e promovendo a preservação da biodiversidade. Os impactos podem ser classificados em diversas áreas temáticas da Política Nacional de Extensão Rural, como Meio Ambiente (por promover a biodiversidade e a sustentabilidade), Saúde (ao melhorar a qualidade da alimentação), Tecnologia e Produção (identificando novas fontes de compostos bioativos) e Trabalho (criando oportunidades econômicas e valorizando o conhecimento tradicional). Os impactos da pesquisa estão alinhados com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. Contribui para erradicar a fome (ODS 2) ao promover a diversificação alimentar e o acesso a alimentos nutritivos. Também está relacionado à saúde e bem-estar (ODS 3), trabalho digno e crescimento econômico (ODS 8) por meio da criação de oportunidades econômicas e ação climática (ODS 13) ao valorizar a biodiversidade e práticas agrícolas sustentáveis.

IMPACT INDICATORS

Socially, the present study promotes dietary diversification, contributing to food security and public health. Technologically, it identifies new sources of bioactive compounds for the food and pharmaceutical industries. Economically, it opens opportunities for the development of new products and markets, valorizing unconventional food plants. Culturally, it rescues and values traditional knowledge about plant use in food, strengthening local identities and promoting biodiversity preservation. The impacts can be classified into various thematic areas of the National Policy for Rural Extension, such as Environment (by promoting biodiversity and sustainability), Health (by improving food quality), Technology and Production (identifying new sources of bioactive compounds), and Work (creating economic opportunities and valuing traditional knowledge). The research impacts are aligned with several United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). It contributes to eradicating hunger (SDG 2) by promoting dietary diversification and access to nutritious food. It is also related to health and well-being (SDG 3), decent work and economic growth (SDG 8) through the creation of economic opportunities, and climate action (SDG 13) by valuing biodiversity and sustainable agricultural practices.

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1. Estágios da *S. oleraceus*: planta madura, botões florais, flores, frutos maduros e dispersão de sementes dos frutos.....15

Figura 2 – Fluxograma geral do processamento mínimo de frutas e hortaliças.....19

ARTIGO 1

Figura 1. Gráfico de contorno na escolha da composição do extrato a ser utilizado nas folhas de serralha nas análises de compostos fenólicos totais.....41

ARTIGO 2

Figura 1. Folhas de *S. oleraceus* cortadas com aproximadamente um cm (A) e 4 cm (B) de comprimento.....57

Figura 2. A - Folhas de *S. oleraceus* expostas à temperatura ambiente (24°C) por 30 min após 2 dias de armazenamento refrigerado à 5°C(A) e folha de *S. oleraceus* (à direita) exposta a temperatura ambiente após refrigeração a 0°C e folha de *S. oleraceus*. B – Folhas de *S. oleraceus* armazenadas a 10°C após seis dias de armazenamento.....61

Figura 3. A - Valores médios de % CO₂ na embalagem para folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de % de perda de massa na embalagem para folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....63

Figura 4. ABC - Valores médios dos parâmetros de coloração de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. D - Valores médios de clorofila (mg/100g) de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....64

Figura 5. A - Valores médios de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de fenólicos totais (mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100g) de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....66

Figura 6. A - Valores médios de atividade antioxidante pelo método ABTS+* de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de atividade antioxidante pelo método β-caroteno/ácido linoleico de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. C - Valores médios de atividade antioxidante pelo método complexo fosfomolibdênio de folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....66

Figura 7. A - Valores médios de mg de ácido gálico/100g para folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de mg de ácido

clorogênico/100g para folhas de *S. oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias.....68

Figura 8. A - Valores médios de % CO₂ na embalagem para folhas de *S. oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. B - Valores médios de % de perda de massa para folhas de *S. oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....69

Figura 9. AB - Valores médios dos parâmetros de coloração de folhas de *S. oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. C - Valores médios de clorofila (mg/100g) de folhas *S. oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....70

Figura 10. A -Valores médios de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) de folhas de *S. oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. B - Valores médios de fenólicos totais (mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100g) de folhas de *S. oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....71

Figura 11. A - Valores médios de atividade antioxidante pelo método ABTS+* de folhas de *S. oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. B - Valores médios de atividade antioxidante pelo método β-caroteno/ácido linoleico de folhas de *S. oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. C - Valores médios de atividade antioxidante pelo método complexo fosfomolibdênio de folhas de *S. oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.....73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Plantas alimentícias não convencionais	13
2.1.1 Serralha	14
2.2 Compostos bioativos e atividade antioxidante	16
2.3 Bioacessibilidade	18
2.4 Hortaliças minimamente processadas	19
2.5 PANC minimamente processadas	22
REFERÊNCIAS	24
Artigo 1 – Aplicação do planejamento de misturas de solventes simplex-centróide na extração de compostos fenólicos de folhas de serralha: caracterização físico-química e digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>.	33
Artigo 2 - Impacto da temperatura de armazenamento e do processamento mínimo sobre a qualidade de folhas de <i>Sonchus oleraceus</i>	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

1. INTRODUÇÃO

Plantas alimentícias não convencionais (PANC), também conhecidas como plantas tradicionais, ou ao redor do mundo como plantas selvagens, é a expressão que se refere às plantas que possuem uma ou mais partes comestíveis, de crescimento espontâneo, sem a utilização de aditivos químicos, nativas de uma região ou exóticas, que não fazem parte da nossa alimentação diária. O termo planta tradicional remete à herança cultural e regional que essas plantas carregam consigo.

Devido ao seu uso como alimento e medicinal há vários anos, em pequenas comunidades, as PANC têm atraído o interesse de pesquisadores, que descobriram que elas são ricas em compostos antioxidantes, proteínas e minerais, sendo o seu consumo importante para a manutenção e melhora do estado nutricional da população. Entre elas destaca-se a serralha (*Sonchus oleraceus*), exemplo de planta com alto potencial nutritivo e aplicação medicinal. Porém, elas são reconhecidas e consumidas predominantemente em comunidades rurais, afastadas dos grandes centros urbanos.

Embora as PANC sejam veículos, em potencial, de nutrientes e compostos bioativos, estudos sobre sua bioacessibilidade são escassos. A bioacessibilidade de um composto diz respeito à fração biodisponível após sua passagem no aparelho digestório, passível de ser absorvida pelo organismo. Logo, a análise de bioacessibilidade permite a compreensão de como o organismo absorve os compostos presentes nos alimentos. Essa informação pode ser utilizada para se estimar os benefícios esperados pelos alimentos, em função de sua composição.

De fato, as PANC ainda são pouco exploradas cientificamente, o que demanda esforços para se definir as boas práticas de conservação, ou mesmo de processamento. A refrigeração e a manipulação atmosférica são técnicas largamente utilizadas no mundo para o prolongamento da vida útil de frutas e hortaliças. Entretanto, o seu mau uso pode provocar injúrias fisiológicas que comprometem a qualidade do vegetal. Logo, a definição da temperatura e atmosfera ideais de armazenamento é fundamental para se maximizar a vida útil pós-colheita das frutas e hortaliças.

O processamento mínimo destaca-se como uma alternativa para estimular o consumo e expandir a presença da serralha no cenário culinário nacional e internacional. Vegetais minimamente processados são aqueles que reúnem o frescor e a qualidade sensorial, nutricional e apelo funcional do vegetal fresco, com a conveniência. Eles passam por processos simples, como higienização, descascamento, corte e embalagem, que lhes conferem a conveniência de estarem prontos para serem consumidos ou irem para a panela, sem lhes tirar o frescor. Essas

peculiaridades têm aumentado a popularidade das frutas e hortaliças minimamente processadas junto ao mercado consumidor, que é ávido por novos produtos, mais práticos e naturais.

Considerando-se, baseado em uma vasta revisão bibliográfica, que a temperatura mínima de segurança, que garante a maior longevidade pós-colheita aos vegetais, ainda não foi definida para folhas de serralha (*Sonchus oleraceus*) e que inexistem estudos que abordem o processamento mínimo dessa hortaliça não convencional, bem como a digestão gastrointestinal *in vitro* de seus compostos fenólicos, o presente trabalho tem como objetivos: determinar as condições ótimas de extração dos compostos fenólicos presentes nas folhas de serralha, utilizando-se a metodologia de superfície de multimistura e avaliar o teor de compostos fenólicos após a simulação de digestão gastrointestinal *in vitro*; determinar a temperatura ideal de armazenamento de folhas de serralha intactas e avaliar o impacto do tamanho do corte sobre a qualidade de folhas de serralha minimamente processadas. Sob o conhecimento atual levantado, entende-se como inéditos os objetivos propostos e os resultados e conclusões obtidas a partir deste trabalho.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivos gerais: i) utilizar a metodologia de superfície de multimistura para a extração dos compostos fenólicos presentes nas folhas de serralha; ii) realizar a digestão gastrointestinal *in vitro* das folhas de serralha e iii) avaliar a qualidade e vida útil de folhas de serralha (*Sonchus oleraceus*) armazenadas sob diferentes temperaturas e ao processamento mínimo. Os objetivos específicos nesse trabalho foram: i) determinar as condições ótimas de extração dos compostos fenólicos presentes nas folhas de serralha, teor de vitamina C, carotenoides, atividade antioxidante, teor de taninos e ácido oxálico nas folhas de serralha; ii) avaliar o teor de compostos fenólicos presentes nas folhas de serralha após a simulação de digestão gastrointestinal *in vitro*; iii) determinar a temperatura ideal de armazenamento de folhas intactas de serralha e iv) avaliar o impacto do corte sobre a qualidade e conservação de folhas de serralha minimamente processada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plantas alimentícias não convencionais

O termo PANC (Planta Alimentícia Não Convencional) foi criado em 2008 pelo biólogo e professor Valdely Ferreira Kinupp. Outras terminologias utilizadas no mundo para se referir às PANC são hortaliças não convencionais, plantas silvestres comestíveis, plantas indígenas comestíveis, que se referem às plantas que possuem uma ou mais partes comestíveis, que crescem espontaneamente, nativas ou exóticas que não estão incluídas em nosso cardápio cotidiano (Kinupp & De Barros, 2008). São plantas presentes em determinadas localidades ou regiões que impactam na cultura, identidade e alimentação de uma população tradicional (Brasil, 2010). Esse conceito compreende a maioria das plantas alimentícias silvestres, que desempenham um papel fundamental na erradicação da pobreza em pequenas comunidades tribais e rurais, na segurança da disponibilidade de alimentos, na diversificação da agricultura, e sua comercialização constitui uma fonte extra de renda para pequenos agricultores e extrativistas (Barbosa *et al.*, 2021; Priyadarshini *et al.*, 2024). Em frente as mudanças climáticas, as PANC demonstram resiliência, são mais resistentes às condições ambientais locais, como excesso de chuvas, ondas de calor ou frio e podem ser utilizadas por agricultores para aproveitamento de áreas consideradas improdutivas, o que promove o aumento da oferta de alimento durante todo o ano (Terra; Viera, 2019).

Nos últimos anos, pesquisadores relataram que algumas espécies de PANC são ricas em compostos antioxidantes, além de possuírem elevados teores de proteínas e minerais (Kinupp & De Barros, 2008; Mar *et al.*, 2021; Moura *et al.*, 2021; Bezerril *et al.*, 2021; Peisino *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2021; Zimmer *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021). Mesmo com um grande potencial nutricional, o cultivo e o consumo de hortaliças não-convencionais têm diminuído, devido à crescente urbanização e ao agronegócio. Sistemas agrícolas tradicionais vêm perdendo espaço e a dependência de produtos fornecidos pela indústria de alimentos aumenta, o que resulta em diminuição do consumo de alimentos locais, alterações no comportamento alimentar da população e, até mesmo, perda da identidade cultural (MAPA, 2010; Leal; Alves; Hanazaki, 2018; Zocchi *et al.*, 2024).

Barreira *et al.* (2015) ao pesquisarem PANC, encontraram elevada diversidade dessas plantas na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, a maioria cultivada em hortas ou coletadas em meio culturas agrícolas, pastos e fragmentos florestais. O consumo das hortaliças naquela região

é feito, principalmente, de forma refogada (cozida), em molhos e caldos e *in natura* e apresentam ciclos de produção anuais e perenes.

Leal; Alves; Hanazaki (2018), em uma pesquisa realizada no distrito de Ribeirão da Ilha, município de Florianópolis, constataram que metade das espécies tradicionais foram mencionadas apenas por um informante e 27% das espécies foram utilizadas exclusivamente no passado. Os moradores da região atribuíram a não utilização das plantas devido à dificuldade em encontrar as espécies e a perda do interesse no recurso.

Estudo realizado por Tuler; Peixoto; Silva (2019), em uma comunidade rural no distrito de Durandé, Minas Gerais, relatou um grande conhecimento da comunidade acerca da diversidade local, seus usos e formas de preparo. O cultivo e consumo dessas espécies está associado ao reconhecimento da herança cultural e ao valor histórico do alimento na culinária regional.

Priyadarshini *et al.* (2024) documentaram a diversidade, o padrão de uso e a ligação aos meios de subsistência das plantas silvestres comestíveis, termo que se refere as plantas alimentícias não convencionais, no distrito de Nayagarh, em Odisha, no leste da Índia. Os pesquisadores relataram que o conhecimento sobre as plantas é maior entre os idosos, do que entre os jovens e aproximadamente 14% da subsistência das comunidades rurais e tribais são oriundas do consumo de PANC.

Observa-se que o maior conhecimento e consumo de PANC se faz presente em áreas afastadas de grandes centros urbanos, com agricultura familiar e a tradição regional presente. O trabalho de resgate das hortaliças tradicionais é essencial para que se evite o processo de extinção dessas plantas e se preserve o conhecimento acerca de seu cultivo e consumo, além de contribuir para a melhora do estado nutricional da população e manutenção dos hábitos socioculturais (Brasil, 2010). Os desafios para a inclusão das PANC no mercado abrangem questões sobre produção, armazenamento e processamento, organização das suas cadeias de abastecimento e a aceitação dos alimentos pelos consumidores, que por vezes correlacionam com pobreza e baixo status social (Barbosa *et al.*, 2021; Leal; Alves; Hanazaki, 2018).

2.1.1 Serralha

Sonchus oleraceus, pertencente à família Asteraceae, é uma espécie de erva daninha predominante no inverno, nativa da região mediterrânica do Norte da África, Ásia temperada e tropical, e Europa. Atualmente amplamente distribuída em todo o mundo, é considerada uma planta invasora de grandes culturas, de crescimento espontâneo e muitas vezes sendo

subutilizada. As plantas distribuem-se facilmente à medida que crescem e se desenvolvem muito rapidamente, produzindo sementes leves e copiosas, sem ou com baixa dormência inata, que podem dispersar-se facilmente pelo vento ou água (Peerzada; O'donnell; Adkins, 2019). *S. oleraceus* possui pecíolos ásperos e espinhosos que envolvem o caule principal. As flores amarelas florescem de maio a setembro e as sementes amadurecem em julho. As sementes são utilizadas para fins medicinais e as folhas novas são comestíveis (Yin; Kwon; Wang, 2007). A planta e seus órgãos são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Estágios da *S. oleraceus*: planta madura, botões florais, flores, frutos maduros e dispersão de sementes dos frutos.



Fonte: Peerzada; O'donnell; Adkins (2019).

No Brasil, a planta é conhecida por diversos nomes populares como: serralha, chicória-brava, serralha-lisa, ciumo ou serralheira. É uma planta importante para as comunidades rurais, que a utilizam na própria alimentação e na geração de renda, comercializando-a, principalmente, em comunidades locais (Lima *et al.*, 2009; Vilela *et al.*, 2010). O uso das folhas, caule e flores da serralha na culinária tradicional e pela medicina popular tem atraído a atenção de pesquisadores.

O extrato hidroetanólico das folhas de *Sonchus oleraceus* demonstrou ação anti-inflamatória em ratos e um efeito do tipo ansiolítico em camundongos (Cardoso Vilela; Soncini; Giusti-Paiva, 2009; Vilela; Bitencourt; Cabral; Franqui *et al.*, 2010). As folhas, caule e flores apresentaram propriedades antidiabéticas, antioxidantes e ação anti-inflamatória (Teugwa *et al.*, 2013; Yin; Kwon; Wang, 2007; Chen; Teng; Cao, 2019; Salim *et al.*, 2023; Chen *et al.*,

2019), o extrato aquoso quente da planta apresentou efeitos antitumorais (Huyan *et al.*, 2016), enquanto as folhas apresentam elevadas quantidades de fenóis, flavonoides e minerais (Al Juhaimi *et al.*, 2017).

Lima *et al.* (2009) estudaram a prospecção fitoquímica e a toxicidade de *Sonchus oleraceus*. Tanto no extrato aquoso, etanólico e diclorometano foram encontrados açúcares redutores, compostos fenólicos, taninos, flavonoides, cumarinas, presença de saponinas, derivados triterpênicos e esteróides. No teste de toxicidade sobre *Artemia salina*, as frações de extrato aquoso demonstraram baixa toxicidade, sendo uma planta segura para alimentação e uso medicinal.

De acordo com os resultados encontrados, a serralha é uma fonte natural de nutrientes e compostos antioxidantes, com grande potencial nutricional e medicinal, que pode ser explorado na alimentação e no desenvolvimento de novos tratamentos e medicamentos.

2.2 Compostos bioativos e atividade antioxidante

Compostos bioativos, também conhecidos como fitoquímicos, são substâncias encontradas em alimentos de origem vegetal e origem animal, como também podem ser produzidos sinteticamente. Os compostos bioativos em vegetais incluem uma ampla gama de fitoconstituintes como fenólicos, vitamina C, carotenoides e óleos essenciais. Esses compostos apresentam diversos benefícios à saúde, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anti-hipertensivas e anticancerígenas (Wang *et al.*, 2023).

Os fenólicos são metabólitos secundários das plantas produzidos pela via metabólica dos fenilpropanoides. São caracterizados pela presença de pelo menos um anel aromático com um ou mais grupos hidroxila (-OH) ligados a ele. O número e a posição dos grupos hidroxila, bem como a presença de outros substituintes no anel benzênico, influenciam nas propriedades físicas e químicas (Platzer *et al.*, 2022). O ácido gálico é um ácido tri-hidroxibenzóico no qual os grupos hidroxila estão nas posições 3, 4 e 5. Possui ação antioxidante, que combate os radicais livres, moléculas instáveis que podem danificar as células e contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas, auxilia na prevenção do envelhecimento precoce e doenças crônico-degenerativas como câncer, doenças cardíacas e Alzheimer, além da sua atividade anti-inflamatória e antibacteriana (Gao *et al.*, 2019; Kahkeshani *et al.*, 2019; Pais *et al.*, 2024; Soltani *et al.*, 2023). O ácido clorogênico é formado pela esterificação do ácido cafeico e do ácido (L)-quínico, podendo ser chamado também de *trans*-5-O-cafeoil-D-quinato.

Possui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antidiabéticas e neuroprotetoras (Abreu; Estévez; De Carvalho; De Medeiros *et al.*, 2024; Clifford *et al.*, 2017; Ong; Hsu; Tan, 2012).

Os carotenoides são uma classe de pigmentos naturais que possuem uma estrutura química baseada em cadeias longas de isopreno, uma unidade básica de cinco carbonos. Conferem colorações que oscilam do amarelo ao vermelho, às frutas e hortaliças, atuam como antioxidantes e são precursores da vitamina A, essencial para a visão e saúde da pele (Shahida Anusha *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

Já a vitamina C é um micronutriente essencial, que não pode ser sintetizado pelo corpo humano e deve ser obtida por meio da alimentação. É uma vitamina hidrossolúvel e está presente em diversas frutas e hortaliças. Tanto o ácido ascórbico, forma reduzida, como o ácido de-hidroascórbico, forma oxidada, são formas biologicamente ativas da vitamina C. Reações de oxirredução ocorrem dinamicamente nas células de modo a alternar as duas formas da vitamina C, permitindo que ela atue continuamente em diversas reações bioquímicas (Tang *et al.*, 2022). Essa vitamina possui ação antioxidante, atua na biossíntese de colágeno, atua como cofator na biossíntese de colesterol, L-carnitina, catecolaminas, aminoácidos e alguns hormônios peptídicos, no fortalecimento do sistema imunológico e facilita a absorção do ferro presente nos alimentos (El-Malla *et al.*, 2022; Grosso *et al.*, 2013; Tang *et al.*, 2022).

Todas as substâncias descritas anteriormente possuem atividade antioxidante. A atividade antioxidante está associada à capacidade de compostos bioativos, de neutralizarem os radicais livres, ajudando a prevenir danos oxidativos às células. Radicais livres são moléculas instáveis que podem causar danos às estruturas celulares, levando ao envelhecimento precoce e ao desenvolvimento de diversas doenças em humanos e desencadeando uma perda na qualidade nos alimentos. Uma maneira de determinar a atividade antioxidante dos compostos bioativos é através de testes *in vitro*.

O método ABTS*+ avalia a capacidade dos antioxidantes presentes na amostra, de eliminar o cátion radical estável ABTS* + (2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico), é eficaz na avaliação da atividade antioxidante total, mostrando a capacidade de neutralização de radicais livres. Os antioxidantes têm a capacidade de neutralizar o cátion radical gerado pelo ABTS através da redução direta por doação de elétrons ou da extinção radical por doação de átomos de hidrogênio, com um equilíbrio dinâmico entre essas duas vias (Christodoulou *et al.*, 2022). O ensaio β -caroteno/ácido linoleico consiste no princípio da oxidação do ácido linoléico. Radicais gerados na auto-oxidação do ácido linoléico como sistema modelo lipídico causam branqueamento do β -caroteno, que é retardado por antioxidantes. Quanto maior a atividade antioxidante da amostra, menor o branqueamento da

solução β -caroteno (Gulcin, 2020). Já o método do complexo fosfomolibdênio é baseado na redução de Mo 6+ a Mo 5+ pelo analito da amostra e subsequente na formação de um complexo de fosfato verde Mo 5+ em pH ácido (Gulcin, 2020). A realização de métodos com diferentes mecanismos de ação, fornecem uma melhor perspectiva sobre a atividade antioxidante total, o que pode fornecer uma compreensão mais completa do potencial antioxidante e identificar sinergias entre diferentes compostos (Munteanu & Apetrei, 2021; Zugazua-Ganado et al., 2024).

2.3 Bioacessibilidade

A bioacessibilidade é um índice que representa a porção de um componente presente em um alimento que se torna livre durante a digestão no sistema digestório, ficando então disponível para ser absorvido pelo corpo (BARBA *et al.*, 2017). Existem várias metodologias para avaliar a bioacessibilidade: i) *in vitro*, com a simulação da digestão, normalmente incluem as fases oral, gástrica e do intestino delgado e, ocasionalmente, a fermentação do intestino grosso; ii) *ex vivo*, que envolvem o uso de órgãos do sistema digestório em condições laboratoriais; iii) modelos *in situ*, como a perfusão intestinal em animais; iv) *in vivo* incluem estudos realizados em animais e seres humanos (Carbonell-Capella *et al.*, 2014).

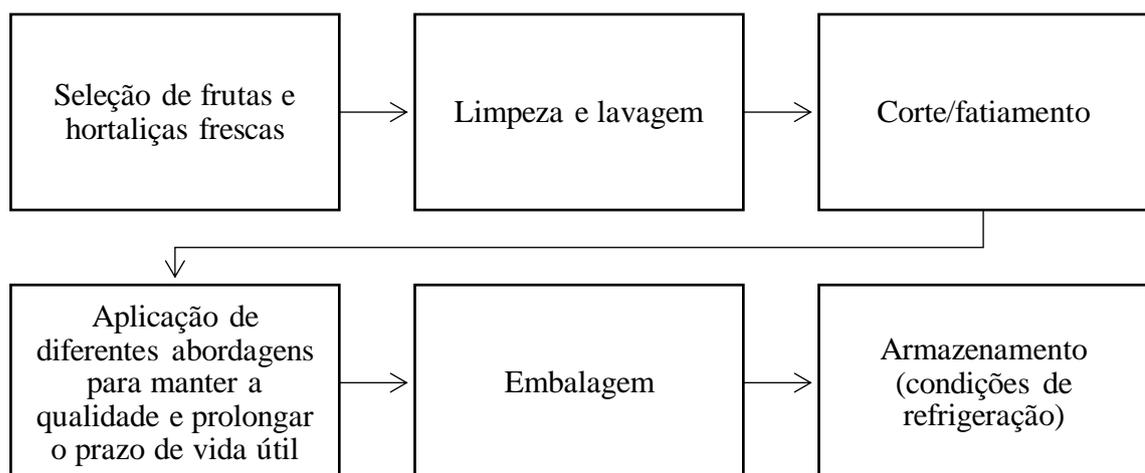
Os métodos *in vitro* possuem a vantagem de serem mais rápidos, menos dispendiosos, menos trabalhosos e não terem restrições éticas (Minekus *et al.*, 2014). A maior parte dos trabalhos que utilizam a digestão gastrointestinal *in vitro* calculam a bioacessibilidade pela razão entre o número de compostos antes e depois da digestão, multiplicado por 100, expressando os resultados em porcentagem. Porém, existem divergências nos cálculos de bioacessibilidade, de acordo com a metodologia empregada, considerando-se o uso, ou não, de membranas de diálise e a simulação da microbiota intestinal. Essas divergências dificultam a comparação dos estudos e uma melhor compreensão das alterações dos compostos após a digestão *in vitro* (Dantas *et al.*, 2023; Shi *et al.*, 2022).

O estudo da bioacessibilidade é fundamental para se conhecer a efetiva quantidade de compostos que o organismo consegue absorver de um determinado alimento, informação importante para se garantir que os consumidores estejam recebendo os benefícios esperados do alimento.

2.4 Hortaliças minimamente processadas

A Associação Internacional de Produtos Frescos Processados (IFPA) define como produtos minimamente processados "qualquer fruta, hortaliça ou combinação deles, que tenha sido fisicamente alterada em relação à sua forma original, mas que permaneça num estado fresco" (Yousuf *et al.*, 2020). São definidos como alimentos prontos para consumo que passaram por procedimentos básicos, como lavagem, sanitização, eliminação de porções não comestíveis, como cascas e sementes, e corte (Silveira Alexandre *et al.*, 2022). Assim, esses produtos reúnem a qualidade fresca com a conveniência, estando prontos para serem consumidos ou irem para panela. Abaixo, um fluxograma geral (Figura 2) sobre o processamento mínimo de frutas e hortaliças.

Figura 2 – Fluxograma geral do processamento mínimo de frutas e hortaliças.



Fonte: Yousuf *et al.* (2020), adaptado.

A produção e o consumo de alimentos minimamente processados estão ganhando popularidade, porém o desafio para os processadores de alimentos é manter as características desse tipo de produto (Yousuf; Qadri; Srivastava, 2018). É importante ressaltar que o processamento mínimo não melhora a qualidade das hortaliças. Sendo assim, a etapa de seleção é crucial para determinar a qualidade e vida útil do produto final. Fatores como o estágio de maturidade na colheita (cor, tamanho, forma, firmeza, número de folhas), tipo e forma de colheita (manual ou mecânico, corte, torção, etc) e horário da colheita podem afetar a qualidade do processamento mínimo (Ansah & Amodio, 2018).

As etapas de limpeza e lavagem, visam remover sujeiras, detritos e reduzir a contaminação microbiana, principalmente quando sanitizantes são adicionados à água de lavagem. No Brasil, o uso de cloro, principalmente hipoclorito de sódio ($200\text{--}250\text{ mg.L}^{-1}$), é recomendado para desinfetar vegetais frescos (Sant'anna; De Melo Franco; Maffei, 2020).

Os cortes e fatiamentos em minimamente processados podem acelerar a deterioração em consequência do crescimento e multiplicação microbiana, como também dos danos físicos aos tecidos. Devido ao corte, as hortaliças possuem uma maior superfície de contato fisiologicamente ativa e rica em nutrientes e água, tornando-se um ambiente perfeito para o crescimento e multiplicação microbiana. Uma das maneiras de diminuir a proliferação microbiana é assegurar que as boas práticas de fabricação sejam seguidas, o que resultará em produtos com populações mais baixas de microrganismos, além do emprego de baixas temperaturas de armazenamento, utilização de atmosfera modificada, entre outras tecnologias (Yousuf *et al.*, 2020).

Os danos nos tecidos vegetais provocados pelo corte, levam a um aumento da atividade fisiológica e outras alterações físico-químicas, tais como o escurecimento enzimático, amolecimento do tecido e aumento significativo na respiração. Quanto maior for a área da lesão nas frutas e hortaliças minimamente processadas, mais intensos serão os danos às células, resultando em alterações mais significativas nos aspectos fisiológicos e bioquímicos. Essas alterações causarão um rápido aumento nas reações metabólicas, com ênfase para a respiração, declínio na qualidade e perda de qualidade fresca (Hu *et al.* 2022).

O escurecimento enzimático tende a ser o fator limitante primário no armazenamento e comercialização de algumas frutas e hortaliças minimamente processadas. Em função da descompartimentação celular causada pelas injúrias mecânicas resultantes do processamento, como o descascamento e fatiamento, mono- e di-hidroxifenóis presentes no tecido entram em contato com enzimas dos grupos das polifenoloxidasas e peroxidases, dando origem, de forma reversível, a ortoquinonas, que se polimerizam, dando origem de forma irreversível às melaninas, pigmentos escuros (Chitarra & Chitarra, 2005; Sommano; Chanasut; Kumpoun, 2020).

Mudanças rápidas de textura podem ocorrer em frutas e hortaliças frescas, imediatamente após o processamento. Elevada taxa de respiração, produção de etileno e perdas hídricas de transpiração conduzirão à perda de turgidez celular e degradação estrutural dos tecidos. Alterações na parede celular do produto catalisadas por enzimas como as pectinametilesterases (PME) e poligalacturonases (PG) contribuem para o seu amaciamento, que pode ser reduzido ou retardado por meio da aplicação de agentes texturizantes, como

cloreto de cálcio, que atuarão como uma barreira contra danos físicos, bioquímicos e microbiológicos (Chinnaswamy; Rudra; Sharma, 2020). Com a elevada taxa de respiração, ocorre um consumo elevado das reservas das hortaliças e conseqüente aceleração do processo de senescência. A utilização de baixas temperaturas acarreta na redução da atividade biológica, retardando o processo de maturação, minimiza a perda de água e diminui a atividade dos microrganismos (Saini; Ko; Keum, 2017).

O aumento na taxa respiratória das frutas e hortaliças provocado pelo processamento aumenta o consumo de suas reservas, acelerando, conseqüentemente o processo de senescência. Visto que o processamento mínimo exacerba o metabolismo dos vegetais, técnicas de conservação devem ser, necessariamente, adotadas, para se preservar sua qualidade e aumentar sua longevidade. Logo, várias estratégias para manter a qualidade e segurança de vegetais minimamente processados são utilizadas e vem sendo estudadas, entre elas a refrigeração, atmosfera modificada, revestimentos comestíveis, ozônio, luz ultravioleta (UV), ultrassom e tecnologias de barreira por combinações de uma ou mais das estratégias citadas acima (Yousuf *et al.*, 2020; Dar *et al.*, 2020).

A utilização de baixas temperaturas é a principal técnica empregada para armazenar e conservar produtos perecíveis, pois a diminuição da temperatura reduz a atividade metabólica, com destaque para a respiração, além de ser eficaz para manter a carga microbiana baixa dos produtos tratados (Gomes *et al.*, 2023). A determinação da temperatura ideal para armazenar os vegetais minimamente processados é fundamental para garantir e manter a qualidade do produto, sem causar danos por estresse térmico, seja por temperaturas muito elevadas, acelerando o processo de deterioração, ou temperaturas muito baixas, causando injúria pelo frio.

O armazenamento em atmosfera modificada (AM) consiste na alteração do ambiente gasoso dentro das embalagens onde serão acondicionados os vegetais minimamente processados. Quando a alteração se dá apenas em função da interação do vegetal com a embalagem, a atmosfera modificada é conhecida como passiva. Se houver uma prévia injeção de gases dentro da embalagem, ela é conhecida como ativa. Em ambos os casos, busca-se uma atmosfera de equilíbrio adequada para o prolongamento da vida útil do vegetal, sem lhe causar danos. As alterações dos gases atmosféricos O₂ e CO₂ ocorrem porque, ao respirar, o vegetal consome o O₂ do meio e libera CO₂, o que resulta na redução e elevação desses gases, respectivamente, até um ponto de equilíbrio. Logo, a atmosfera que envolve a hortaliça determinará a sua taxa de respiração e depende de fatores como permeabilidade do filme e condições de armazenamento (temperatura e umidade relativa) (Ochoa-Velasco & Guerrero-

Beltrán, 2016). Manter os níveis ideais de O₂ e CO₂ dentro da embalagem, é fundamental para não causar danos nos vegetais minimamente processados. A presença ou acúmulo de CO₂ em concentrações acima de 15%, e concentrações inferiores a 1% de O₂, podem desencadear a respiração anaeróbica, que leva à fermentação dos vegetais processados e injúrias fisiológicas. A fermentação leva à produção de compostos como ácido lático, etanol e acetato, que podem conferir um sabor e aroma desagradáveis aos produtos, além de alterar sua textura e consistência, acarretando na perda da qualidade (SILVEIRA ALEXANDRE *et al.*, 2022). Os benéficos efeitos da AM em minimamente processados têm sido comprovados, como ação anti-esclarecimento, inibição do crescimento microbiano e prolongamento da vida útil (López-Gálvez *et al.*, 2015; Charles *et al.*, 2013).

Além da função modificadora da atmosfera, as embalagens têm também como funções a contenção e proteção do alimento, bem como a comunicação com o consumidor e a conveniência. A embalagem atua como barreira e confere proteção contra fatores ambientais, de modo a preservar os alimentos em termos de qualidade e segurança desde o produtor até o consumidor final. Geralmente, também fornece informações sobre a composição dos alimentos, recomendações de armazenamento, origem do produto, datas de validade, entre outras (Kuswandi & Jumina, 2020).

2.5 PANC minimamente processadas

A elaboração de PANC minimamente processadas está ligada a uma gastronomia sustentável e contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. Esta iniciativa visa popularizar hortaliças não convencionais, especialmente em grandes centros urbanos onde seu consumo é menos conhecido e utilizado, oferecendo uma alimentação segura devido ao seu alto valor nutricional e propriedades medicinais. A inclusão dessas plantas na dieta além de promover a diversificação alimentar, fomenta a sustentabilidade ambiental ao reduzir as emissões de gases poluentes associadas ao transporte de alimentos. Além disso, o apoio ao comércio local dessas hortaliças estimula a economia de pequenos agricultores e reconecta os consumidores com as origens culturais dos alimentos, enriquecendo a compreensão e valorização da tradição alimentar regional (Hunter *et al.*, 2019).

Lima (2017) estudou o armazenamento refrigerado a 5°C de flores de capuchinha nas cores laranja, vermelha, amarelo e amarelo claro identificando os teores de vitamina C, compostos fenólicos totais e carotenoides e suas características físico-químicas. As flores de coloração amarelas e laranjas tiveram melhor conservação, com base na aparência, durante seis

dias de armazenamento, quando comparadas com as flores vermelhas e amarelo claro. Já as flores de coloração vermelha, apresentaram maiores teores de compostos fenólicos e vitamina C. A autora propõe que o consumo das flores de capuchinha sejam colhidas, embaladas imediatamente, armazenadas a condições de refrigeração a 5°C, e mantidas nessas condições até serem consumidas.

Resende (2019) avaliou a qualidade de três hortaliças não convencionais: azedinha (*Rumex acetosa L.*); ora-pronóbis (*Pereskia aculeata Mill.*) e taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) minimamente processadas. A autora destaca que as folhas de azedinha e folhas de taioba minimamente processadas armazenadas a 0°C e 5°C é capaz de manter por mais tempo a qualidade inicial do produto, independentemente do tamanho do corte. Já para as folhas de ora-pró-nobis, rasgada ou picada, a temperatura ideal de armazenamento e a comercialização é de 5°C.

Gomes (2022) avaliou o efeito do hidrorresfriamento na qualidade pós colheita de folhas de azedinha (*Rumex acetosa L.*). A autora destaca que o hidrorresfriamento aliado a atmosfera modificada auxiliou na redução da perda de massa e na manutenção dos teores de clorofila, vitamina C e fenólicos, com destaque para os tratamentos hidrorresfriados à 20 °C, mantendo a qualidade do minimamente processado por até 10 dias armazenados à temperatura de 10°C.

Diante do exposto, os estudos revisados indicam que técnicas como o armazenamento refrigerado, atmosfera modificada são eficazes para preservar a qualidade nutricional das PANC minimamente processadas, prolongando sua vida útil sem comprometer sua qualidade. Sendo viável o estudo com outras hortaliças não convencionais, como a serralha (*Sonchus oleraceus*), e estabelecer quais as condições ideais de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- A. APOORVA; S. DASGUPTA; M. PADMAVATI. Stem extract of *Basella alba* with potential anticancer and antiangiogenic activity. **New Biotechnology**, 44, p. S83, 2018.
- ABREU, T. L.; ESTÉVEZ, M.; DE CARVALHO, L. M.; DE MEDEIROS, L. L. et al. Unveiling the bioactivity and bioaccessibility of phenolic compounds from organic coffee husks using an in vitro digestion model. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 104, n. 3, p. 1833-1842, 2024/02/01 2024.
- AL JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; AHMED, I. A. M.; BABIKER, E. E. et al. Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 11, n. 4, p. 1745-1751, 2017.
- AMABYE, T. G. Evaluation of Physiochemical, Phytochemical, Antioxidant and Antimicrobial Screening Parameters of *Amaranthus spinosus* Leaves. **Natural Products Chemistry & Research**, 4, p. 1-5, 2015.
- ANA MARÍA CALDERÓN DE LA BARCA; MARÍA ELVIRA ROJAS-MARTÍNEZ; ISLAS-RUBIO, A. R.; CABRERA-CHÁVEZ, F. Gluten-Free Breads and Cookies of Raw and Popped Amaranth Flours with Attractive Technological and Nutritional Qualities. **Plant Foods for Human Nutrition**, 65, p. 241–246, 2010.
- ANSAH F.A.; AMODIO M.L.; G., C. Quality of fresh-cut products as affected by harvest and postharvest operations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 98, p. 3614-3626, 2018.
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY). **Official methods of analysis**. 19.ed. Gaithersburg, 2012. pg 3000.
- ARAÚJO, A. B. S.; CARVALHO, E. E. N.; BOAS, E. V. d. B. V. Influência da embalagem na qualidade pós colheita de “baby leaf” de agrião da terra. **Research, Society and Development**, 9, n. 10, 2020.
- ARAÚJO, S. S.; ARAÚJO, P. S.; GIUNCO, A. J.; SILVA, S. M. et al. Bromatology, food chemistry and antioxidant activity of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 31, n. 3, p. 188-195, 2019.
- ASOKAN B.R.; JAIKUMAR S.; G., S. Evaluation of Anticonvulsant and Anti-oxidant Potentials of *Basella Alba* by Influencing the Brain Enzyme Levels in Laboratory Animals. **International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences**, 11, p. 5031-5034, 2020.
- AUZANNEAU, N.; WEBER, P.; KOSIŃSKA-CAGNAZZOA, A.; ANDLAUERA, W. Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Lonicera caerulea* berries: Comparison of seven cultivars over three harvesting years. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 66, 2018. pg. 81-89.

- BARBA, F. J.; MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N.; MERCADANTE, A. Z. et al. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. **Trends in Food Science & Technology**, 67, p. 195-206, 2017/09/01/ 2017.
- BARBOSA, D. M.; SANTOS, G. M. C. D.; GOMES, D. L.; SANTOS, É. M. D. C. et al. Does the label 'unconventional food plant' influence food acceptance by potential consumers? A first approach. **Heliyon**, 7, n. 4, 2021.
- BARREIRA, T. F.; PAULA FILHO, G. X.; RODRIGUES, V. C. C.; ANDRADE, F. M. C. et al. Diversity and equivalence of unconventional food plants in rural zone of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 17, n. 4, p. 964-974, 2015.
- BEZERRIL, F. F.; DE SOUZA, M. F. V.; LIMA, M. S.; PACHECO, M. T. B. et al. Physicochemical characteristics and bioactive compounds of the Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) cactus from Caatinga Brazilian: are they nutritive and functional? **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Hortaliças não-convencionais: (tradicionais)** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: MAPA/ACS, 2010. 52 p.
- CARBONELL-CAPELLA, J. M.; BUNIEWSKA, M.; BARBA, F. J.; ESTEVE, M. J. et al. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: a review. **Compr Rev Food Sci Food Saf** 13: 155–171. 2014.
- CARDOSO VILELA, F.; SONCINI, R.; GIUSTI-PAIVA, A. Anxiolytic-like effect of *Sonchus oleraceus* L. in mice. **J Ethnopharmacol**, 124, n. 2, p. 325-327, Jul 15 2009.
- CHACHA, J. S.; LASWAI, H. S. Traditional Practices and Consumer Habits regarding Consumption of Underutilised Vegetables in Kilimanjaro and Morogoro Regions, Tanzania. **Int J Food Sci**, 2020, p. 3529434, 2020.
- CHARLES, F.; VIDAL, V.; OLIVE, F.; FILGUEIRAS, H. et al. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 18, p. 190-195, 2013/04/01/ 2013.
- CHEN, L.; LIN, X.; XIAO, J.; TIAN, Y. et al. *Sonchus oleraceus* Linn protects against LPS-induced sepsis and inhibits inflammatory responses in RAW264.7 cells. **J Ethnopharmacol**, 236, p. 63-69, May 23 2019.
- CHEN, L.; TENG, H.; CAO, H. Chlorogenic acid and caffeic acid from *Sonchus oleraceus* Linn synergistically attenuate insulin resistance and modulate glucose uptake in HepG2 cells. **Food Chem Toxicol**, 127, p. 182-187, May 2019.
- CHINNASWAMY, S.; RUDRA, S. G.; SHARMA, R. R. Texturizers for fresh-cut fruit and vegetable products. In: **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**, 2020. p. 121-149.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós Colheita de Frutas e Hortaliças - Fisiologia e Manuseio**. 2 ed. 2005. 85-87692-27-5.7

CHRISTODOULOU, M. C.; ORELLANA PALACIOS, J. C.; HESAMI, G.; JAFARZADEH, S. *et al.* Spectrophotometric Methods for Measurement of Antioxidant Activity in Food and Pharmaceuticals. **Antioxidants**, v.11, n. 11, 2022.

CLAUTILDE MOFOR TEUGWA; MEJIATO, P. C.; DENIS ZOFOU; BRUNO TUGNOUA TCHINDA *et al.* Antioxidant and antidiabetic profiles of two African medicinal plants: *Picralima nitida* (Apocynaceae) and *Sonchus oleraceus* (Asteraceae). **BMC Complementary and Alternative Medicine** 13, p. 9, 2013.

CLIFFORD, M. N.; JAGANATH, I. B.; LUDWIG, I. A.; CROZIER, A. Chlorogenic acids and the acyl-quinic acids: discovery, biosynthesis, bioavailability and bioactivity. **Natural Product Reports**, 34, n. 12, p. 1391-1421, 2017.

DANTAS, A. M.; FERNANDES, F. G.; MAGNANI, M.; DA SILVA CAMPELO BORGES, G. Gastrointestinal digestion assays for evaluating the bioaccessibility of phenolic compounds in fruits and their derivatives: an overview. **Food Research International**, 170, p. 112920, 2023/08/01/ 2023.

DAR, A. H.; BASHIR, O.; KHAN, S.; WAHID, A. *et al.* Fresh-cut products: Processing operations and equipments. In: **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**, 2020. p. 77-97.

DE LIMA, J. P.; AZEVEDO, L.; DE SOUZA, N. J.; NUNES, E. E. *et al.* First evaluation of the antimutagenic effect of mangaba fruit *in vivo* and its phenolic profile identification. **Food Res Int**, 75, p. 216-224, 2015.

DIMA, C.; ASSADPOUR, E.; DIMA, S.; JAFARI, S. M. Bioavailability and bioaccessibility of food bioactive compounds; overview and assessment by *in vitro* methods. **Compr Rev Food Sci Food Saf**, 19, n. 6, p. 2862-2884, 2020.

DLAMINI, N.; MOROKA, T.; MLOTSHWA, L.; REDDY, J. *et al.* Indigenous edible plants as sources of nutrients and health benefitting components (nutraceuticals). In: CSIR International Convention Center, 2010, **Pretoria, South Africa**. p. 11. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10204/4224>.

DUTRA, R. L. T.; DANTAS, A. M.; MARQUES, D. A.; BATISTA, J. D. F. *et al.* Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Res Int**, 100, n. Pt 1, p. 650-657, 2017.

EJOH, S. I.; WIREKO-MANU, F. D.; PAGE, D.; RENARD, C. M. G. C. Traditional green leafy vegetables as underutilised sources of micronutrients in a rural farming community in south-west Nigeria I: estimation of vitamin C, carotenoids and mineral contents. **South African Journal of Clinical Nutrition**, p. 1-6, 2019.

EL-MALLA, S. F.; ELATTAR, R. H.; KAMAL, A. H.; MANSOUR, F. R. A highly sensitive switch-on spectrofluorometric method for determination of ascorbic acid using a selective eco-friendly approach. **Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc**, 270, p. 120802, 2022.

GAO, J.; HU, J.; HU, D.; YANG, X. A Role of Gallic Acid in Oxidative Damage Diseases: A Comprehensive Review. **Natural Product Communications**, 14, n. 8, p. 1934578X19874174, 2019.

GOMES, B. A. F. **QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE AZEDINHA (*Rumex acetosa* L.) SUBMETIDA AO HIDRORRESFRIAMENTO E AO ARMAZENAMENTO SOB ATMOSFERA MODIFICADA**. 2022. 88 f. Dissertação de mestrado -, Universidade Federal de Lavras, Repositório Institucional da Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/49551>.

GOMES, B. A. F.; ALEXANDRE, A. C. S.; DE ANDRADE, G. A. V.; ZANZINI, A. P. et al. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook. **Food Chemistry Advances**, 2, p. 100304, 2023.

GROSSO, G.; BEI, R.; MISTRETTA, A.; MARVENTANO, S. et al. Effects of vitamin C on health: a review of evidence. **Front Biosci (Landmark Ed)**, 18, n. 3, p. 1017-1029, 2013.

GROSSO, G.; BEI, R.; MISTRETTA, A.; MARVENTANO, S. *et al.* Effects of vitamin C on health: a review of evidence. **Front Biosci (Landmark Ed)**, 18, n. 3, p. 1017-1029, 2013.

GULCIN, İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. **Archives of Toxicology**, 94, n. 3, p. 651-715, 2020.

HU, W.; SARENGAOWA; GUAN, Y.; FENG, K. Biosynthesis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Fresh-Cut Fruits and Vegetables. **Frontiers in Microbiology**, 13, 2022.

HUNTER, D.; BORELLI, T.; BELTRAME, D. M. O.; OLIVEIRA, C. N. S. *et al.* The potential of neglected and underutilized species for improving diets and nutrition. **Planta**, 250, n. 3, p. 709-729, 2019.

HUYAN, T.; LI, Q.; WANG, Y. L.; LI, J. et al. Anti-tumor effect of hot aqueous extracts from *Sonchus oleraceus* (L.) L. and *Juniperus sabina* L - Two traditional medicinal plants in China. **J Ethnopharmacol**, 185, p. 289-299, 2016.

KAHKESHANI, N.; FARZAEI, F.; FOTOUHI, M.; ALAVI, S. S. et al. Pharmacological effects of gallic acid in health and diseases: A mechanistic review. **Iran J Basic Med Sci**, 22, n. 3, p. 225-237, 2019.

KHANAM, U.; OBA, S. Bioactive substances in leaves of two amaranth species, *Amaranthus tricolor* and *A. hypochondriacus*(Article). **Canadian Journal of Plant Science**, 93, p. 47-58, 2013.

KINUPP, V. F.; DE BARROS, I. B. I. Protein and mineral contents of native species, potential vegetables, and fruits. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, 28, n. 4, p. 846-857, 2008.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. p. 978-85-86714-46-7. 2014.

KUSWANDI, B.; JUMINA. Active and intelligent packaging, safety, and quality controls. In: **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**, p. 243-294, 2020.

LEAL, M. L.; ALVES, R. P.; HANAZAKI, N. Knowledge, use, and disuse of unconventional food plants. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, 14, n. 1, 2018.

LIMA, I. C. e. **VIDA ÚTIL E QUALIDADE DE DUAS ESPÉCIES DE HORTALIÇAS NÃO CONVENCIONAIS: CAPUCHINHA (*Tropaeolum majus* L.) E ORA-PRONOBIS (*Pereskia aculeata* Miller)** 2017. 136 f. Dissertação de mestrado -, Universidade Federal de Lavras, Repositório Institucional da Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/13241>.

LIMA, J. M.; SILVA, C. A.; ROSA, M. B.; SANTOS, J. B. et al. Phytochemical Prospecting of *Sonchus oleraceus* and its toxicity to *Artemia salina*. **Planta Daninha**, 27, 2009.

LÓPEZ-GÁLVEZ, F.; RAGAERT, P.; HAQUE, M. A.; ERIKSSON, M. et al. High oxygen atmospheres can induce russet spotting development in minimally processed iceberg lettuce. **Postharvest Biology and Technology**, 100, p. 168-175, 2015.

MAR, J. M.; DA SILVA, L. S.; MOREIRA, W. P.; BIONDO, M. M. et al. Edible flowers from *Theobroma speciosum*: Aqueous extract rich in antioxidant compounds. **Food Chemistry**, 356, 2021.

MEDINA, M. B. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, 3, n. 2, p. 79-87, 2011.

MILIÃO, G. L.; DE OLIVEIRA, A. P. H.; SOARES, L. d. S.; ARRUDA, T. R. et al. Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. **Future Foods**, 5, p. 100124, 2022.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S. et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. **Food Funct**, 5, n. 6, p. 1113-1124, 2014.

MOURA, I. O.; SANTANA, C. C., Jr.; LOURENÇO, Y. R. F.; SOUZA, M. F. et al. Chemical Characterization, Antioxidant Activity and Cytotoxicity of the Unconventional Food Plants: Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Leaf, Major Gomes (*Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn.) and Caruru (*Amaranthus deflexus* L.). **Waste and Biomass Valorization**, 12, n. 5, p. 2407-2431, 2021.

OCHOA-VELASCO, C. E.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A. The effects of modified atmospheres on prickly pear (*Opuntia albicarpa*) stored at different temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, 111, p. 314-321, 2016.

- OLUBAYODE BAMIDELE; NKIRUKA CHISOM OKEKE; TEMITOPE GABRIEL ADEDEJI; LAWRENCE DAYO ADEDAYO et al. Methanol extracts of *Basella alba* leaves alleviate stress in rats. **Chinese Herbal Medicines**, 12, p. 163-170, 2020.
- ONG, K. W.; HSU, A.; TAN, B. K. Chlorogenic acid stimulates glucose transport in skeletal muscle via AMPK activation: a contributor to the beneficial effects of coffee on diabetes. **PLoS One**, 7, n. 3, p. e32718, 2012.
- PAIS, A. C. S.; COSCUETA, E. R.; PINTADO, M. M.; SILVESTRE, A. J. D. et al. Exploring the bioaccessibility and intestinal absorption of major classes of pure phenolic compounds using in vitro simulated gastrointestinal digestion. **Heliyon**, p. e28894, 2024.
- PARADISO, V. M. et al. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. **Food & Function**, v.8, pg 5629–5640, 2018.
- PEERZADA, A. M.; O'DONNELL, C.; ADKINS, S. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus L.*). **Acta Physiologiae Plantarum**, 41, n. 8, 2019.
- PEERZADA, A. M.; O'DONNELL, C.; ADKINS, S. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus L.*). **Acta Physiologiae Plantarum**, 41, n. 8, p. 136, 2019.
- PEISINO, M. C. O.; ZOUAIN, M. S.; DE CHRISTO SCHERER, M. M.; SCHMITT, E. F. P. et al. Health-Promoting Properties of Brazilian Unconventional Food Plants. **Waste and Biomass Valorization**, 11, n. 9, p. 4691-4700, 2020.
- PETER, K.; GANDHI, P. Rediscovering the therapeutic potential of *Amaranthus* species: A review. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences**, 4, n. 3, p. 196-205, 2019.
- PLATZER, M.; KIESE, S.; TYBUSSEK, T.; HERFELLNER, T. et al. Radical Scavenging Mechanisms of Phenolic Compounds: A Quantitative Structure-Property Relationship (QSPR) Study. 9, 2022.
- PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E1. *Analytical Biochemistry*, Bethesda, v. 269, p. 337–341, 1999.
- PRIYADARSHINI, S.; TUDU, S.; DASH, S. S.; BISWAL, A. K. et al. Wild edible plants: diversity, use pattern and livelihood linkage in Eastern India. **Genetic Resources and Crop Evolution**, 2024.
- PUSHPA CHETHAN KUMAR; HARINDER SINGH OBEROI; AZEEZ, S. *Basella*- an Underutilized Green Leafy Vegetable with a Potential for Functional **Food Development**. **Food Reviews International**, 37, 2021.
- RASTOGI, A.; SHUKLA, S. Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 53, p. 109-125, 2013.

RESENDE, N. S. **QUALIDADE DE HORTALIÇAS NÃO CONVENCIONAIS MINIMAMENTE PROCESSADAS** 2019. 150 f. -, Universidade Federal de Lavras, Repositório Institucional da Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/34819>.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *A guide to carotenoid analysis in foods*. Washington: Internacional Life Sciences Institute Press, 2001. p.64. 2001.

RORIZ, C. L.; XAVIER, V.; HELENO, S. A.; PINELA, J. et al. Chemical and Bioactive Features of *Amaranthus caudatus* L. Flowers and Optimized Ultrasound-Assisted Extraction of Betalains. **Foods**, 10, n. 4, 2021.

RUFINO, M.S.M. et al. Bioactive compounds and antioxidante capacities of 18 no-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v.121, p.996-1002, 2010.

S. A. DESHMUKH; GAIKWAD, D. K. A review of the taxonomy, ethnobotany, phytochemistry and pharmacology of *Basella alba* (Basellaceae). **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, 4, p. 153-165, 2014.

SAINI, R. K.; KO, E. Y.; KEUM, Y.-S. Minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables: Production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential. **Food Reviews International**, 33, n. 6, p. 644-663, 2017.

SALIM, N. S.; ABDEL-ALIM, M.; SAID, H. E. M.; FODA, M. F. Phenolic Profiles, Antihyperglycemic, Anti-Diabetic, and Antioxidant Properties of Egyptian *Sonchus oleraceus* Leaves Extract: An In Vivo Study. **Molecules**, v.28, n. 17, 2023.

SANCHEZ-AGUIRRE, O. A.; SANCHEZ-MEDINA, A.; JUAREZ-AGUILAR, E.; BARREDA-CASTILLO, J. M. *et al.* *Sonchus oleraceus* L.: ethnomedical, phytochemical and pharmacological aspects. **Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol**, 2024.

SANDOVAL-SICAIROS, E. S.; MILÁN-NORIS, A. K.; LUNA-VITAL, D. A.; MILÁN-CARRILLO, J. et al. Anti-inflammatory and antioxidant effects of peptides released from germinated amaranth during in vitro simulated gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, 343, 2021.

SANT'ANNA, P. B.; DE MELO FRANCO, B. D.; MAFFEI, D. F. Microbiological safety of ready-to-eat minimally processed vegetables in Brazil: an overview. **J Sci Food Agric**, 100, n. 13, p. 4664-4670, 2020.

SHAHIDA ANUSHA, S.; SALOME, D.; YASAMAN, E.; SAHAR, R. et al. Uses of carotenoid-rich ingredients to design functional foods: a review. **Journal of Food Bioactives**, 21, n. 0, 2023.

SHI, M.; WU, H.; LI, M.; LIU, Z. et al. Assessment of the bioaccessibility of phenolics from Australian grown lettuces by in vitro simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation. **Food Bioscience**, 48, p. 101754, 2022.

SILVA, L. F. L. E.; SOUZA, D. C. D.; NASSUR, R. D. C. M. R.; BITTENCOURT, W. J. M. et al. Nutritional characterisation and grouping of unconventional vegetables in Brazil. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 2021.

SILVA, L.; SOUZA, D. C.; RESENDE, L. V.; NASSUR, R. et al. Nutritional Evaluation of Non-Conventional Vegetables in Brazil. **An Acad Bras Cienc**, 90, n. 2, p. 1775-1787, 2018.

SILVEIRA ALEXANDRE, A. C.; FERREIRA GOMES, B. A.; DUARTE, G. N.; PIVA, S. F. et al. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 1: Fundamentals and chemical methods. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46, n. 8, p. e16757, 2022.

SINGH, A.; DUBEY, P. K.; CHAURASIYA, R.; MATHUR, N. et al. Indian spinach: an underutilized perennial leafy vegetable for nutritional security in developing world. **Energy, Ecology and Environment**, 3, n. 3, p. 195-205, 2018.

SOLTANI, A.; SHAMS ABADI, S. M.; RAEISI, M.; KOUHIHABIBIDEHKORDI, G. et al. Apoptosis-inducing Plant-based Phenolic Compounds are Effective on Leukemia Cell Lines. **Current Pharmaceutical Design**, 29, n. 14, p. 1092-1104, 2023.

SOMMANO, S. R.; CHANASUT, U.; KUMPOUN, W. Enzymatic browning and its amelioration in fresh-cut tropical fruits. In: **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**. p. 51-76. 2020.

SRIVASTAVA, R. Nutritional quality of some cultivated and wild species of *Amaranthus L.* **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, 2, p. 3152-3156, 2011.

TANG, X.; LIU, H.; XIAO, Y.; WU, L. et al. Vitamin C Intake and Ischemic Stroke. **Front Nutr**, 9, p. 935991, 2022.

TERRA, S. B.; VIERA, C. T. R. Unconventional Food Plants (UFPs): survey in urban zones of Santana do Livramento, RS. **Ambiência**, 15, p. 112-130, 2019.

TULER, A. C.; PEIXOTO, A. L.; SILVA, N. C. B. D. Unconventional food plants in the rural (ufp) community of São José da Figueira, Durandé, Minas gerais, Brazil. **Rodriguesia**, 70, 2019.

VILELA, F. C.; BITENCOURT, A. D.; CABRAL, L. D.; FRANQUI, L. S. et al. Anti-inflammatory and antipyretic effects of *Sonchus oleraceus* in rats. **J Ethnopharmacol**, 127, n. 3, p. 737-741, 2010.

WANG, Y.; LI, S.; LI, K.; LIU, P. et al. Research Progress on Bioactive Components and Their Functions of Fruits and Vegetables. **Food Nutrition Chemistry**, 1, n. 1, p. 14, 2023.

YEN, G. C.; CHEN, H. Y.; PENG, H. H. Evaluation of the cytotoxicity, mutagenicity and antimutagenicity of emerging edible plants. **Food and Chemical Toxicology**, 39, n. 11, p. 1045-1053, 2001.

YIN, J.; KWON, G.-J.; WANG, M.-H. The antioxidant and cytotoxic activities of *Sonchus oleraceus L.* extracts. **Nutrition Research and Practice**, 3, p. 189-194, 2007.

YOUSUF, B.; DESHI, V.; OZTURK, B.; SIDDIQUI, M. W. 1 - Fresh-cut fruits and vegetables: Quality issues and safety concerns. In: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**: Academic Press, p. 1-15. 2020.

YOUSUF, B.; QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. **LWT**, 89, p. 198-209, 2018.

ZIMMER, T. B. R.; OTERO, D. M.; ZAMBIAZI, R. C. Physicochemical and Bioactive Compounds Evaluation of *Physalis Pubescens* Linnaeus l. **Revista Ceres**, 67, n. 6, p. 432-438, 2020.

ZOCCHI, D. M.; SULAIMAN, N.; PRAKOFJEW, J.; SŌUKAND, R. et al. Local Wild Food Plants and Food Products in a Multi-Cultural Region: An Exploratory Study among Diverse Ethnic Groups in Bessarabia, Southern Moldova. **Sustainability**, v.16, n. 5, 2024.

Artigo 1 – Aplicação do planejamento de misturas de solventes simplex-centróide na extração de compostos fenólicos de folhas de serralha: caracterização físico-química e digestão gastrointestinal *in vitro*.

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

Ana Beatriz Silva Araújo¹, Gilson Gustavo Lucinda Machado¹, Elisângela Elena Nunes Carvalho¹, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas¹

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: *Sonchus oleraceus*, comumente conhecido como serralha, é uma planta silvestre comestível ou planta alimentícia não convencional distribuída em várias regiões do mundo. Ela é utilizada por pequenas comunidades rurais como alimento, bem como planta medicinal. O objetivo do trabalho foi determinar, de forma inédita, as melhores condições de extração de compostos fenólicos nas folhas de serralha e identificar e avaliar esses compostos e a atividade antioxidante, após digestão gastrointestinal *in vitro*. A combinação de solventes como metanol e etanol (70/30 v/v) revelou ser a melhor condição para extração de compostos fenólicos totais. Na triagem fitoquímica foram identificados os ácidos gálico (1091,29±0,21 mg/100g) e clorogênico (154,4mg/100g). Os resultados obtidos permitem sugerir as folhas de serralha como fonte alternativa de antioxidantes, com destaque para os fenólicos (1257,94±20,56mg de EAG/100g de serralha), vitamina C (848,29±12,22 mg/100g) e carotenoides (265±55,68 µ de α-caroteno/g; 300,19±56,90 µ de β-caroteno/g e 280,82±56,88 µ de licopeno/g). Fatores antinutricionais como ácido tânico e ácido oxálico foram quantificados. Após simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, os teores de ácido gálico, ácido clorogênico e fenólicos totais reduziram drasticamente, embora a atividade antioxidante tenha sido preservada substancialmente. Os resultados obtidos demonstraram que as folhas de serralha são uma fonte importante de compostos bioativos passível de ser explorada em uma alimentação saudável e evidenciam seu potencial como ingrediente e fonte de princípios ativos para as indústrias farmacêutica e de alimentos.

Palavras chave: serralha, plantas silvestres comestíveis, simplex centroid design, antioxidantes, biodisponibilidade.

Abstract: *Sonchus oleraceus*, commonly known as common sowthistle, is an edible wild plant or unconventional food plant distributed across various regions of the world. It is utilized by small rural communities both as food and as a medicinal plant. The objective of this study was to determine, for the first time, the optimal conditions for extracting phenolic compounds from sowthistle leaves, and to identify and evaluate these compounds and their antioxidant activity after in vitro gastrointestinal digestion. The solvent combination of methanol and ethanol (70/30 v/v) was found to be the most effective for extracting total phenolic compounds. Phytochemical screening identified gallic acid (1091,29±0.21 mg/100g) and chlorogenic acid (154,4 mg/100g) as prominent components. The results suggest sowthistle leaves as an alternative source of antioxidants, highlighting phenolics (1257,94±20,56 mg GAE/100g of sowthistle), vitamin C (848,29±12,22 mg/100g), and carotenoids (265±55.68 µg of α-carotene/g; 300,19±56,90 µg of β-carotene/g; 280,82±56,88 µg of lycopene/g). Antinutritional factors such as tannic acid and oxalic acid were quantified. After simulated in vitro gastrointestinal digestion, levels of gallic acid, chlorogenic acid, and total phenolics decreased significantly, although antioxidant activity was substantially preserved. These findings demonstrate that sowthistle leaves are an important source of bioactive compounds suitable for exploitation in healthy diets, highlighting their potential as ingredients and sources of active principles for pharmaceutical and food industries.

Keywords: sow thistle, edible wild plants, simplex centroid design, antioxidants, bioavailability.

1. INTRODUÇÃO

Plantas alimentícias silvestres ou hortaliças não convencionais, é a expressão que se refere às plantas que possuem uma ou mais partes comestíveis, de crescimento espontâneo, sem a utilização de aditivos químicos, nativas de uma região ou exóticas, que não fazem parte da nossa alimentação diária. São plantas presentes em determinadas localidades ou regiões que impactam na cultura, identidade e alimentação de uma população tradicional (Barbosa *et al.*, 2021; Milião *et al.*, 2022).

O histórico de consumo e uso medicinal das plantas alimentícias silvestres em pequenas comunidades há muitos anos impulsionou o interesse científico por essas plantas. Dentre elas destaca-se a *Sonchus oleraceus*, conhecida popularmente como serralha, uma espécie de erva daninha pertencente à família Asteraceae, predominante no inverno, nativa da região mediterrânea do Norte da África, Ásia temperada e tropical, e Europa (Peerzada *et al.*, 2019). Estudos relatam que a serralha possui atividade antioxidante, antimicrobiana, além de ser utilizada para tratar problemas gastrointestinais, diabetes, inflamações, infecções e hepatite (Sanchez-Aguirre *et al.*, 2024).

Os compostos fenólicos são substâncias encontradas naturalmente nos vegetais e muito estudadas devido as suas propriedades antioxidantes. No corpo humano, estes compostos combatem os radicais livres, moléculas instáveis que podem danificar as células e contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas (Platzer *et al.*, 2022). A vitamina C atua como cofator em diversas reações biológicas, possui importante papel na síntese de colágeno, além de aumentar a absorção de ferro no organismo e atuar como antioxidante (Adamus *et al.*, 2023). Já os carotenoides são precursores da vitamina A, essencial para a visão e saúde da pele (Shahida-Anusha *et al.* 2023). O consumo de vegetais ricos em todas essas substâncias é de fundamental importância para a manutenção e melhoria do estado de saúde dos indivíduos, porém é necessário entender a presença desses compostos após a digestão gastrointestinal. Diversos fatores influenciam esse processo, como a matriz alimentar, métodos de processamento e características individuais (Dantas *et al.* 2023). Fatores antinutricionais, como o ácido oxálico e taninos, podem interferir na absorção de vários nutrientes. Avaliar sua presença é crucial para garantir a biodisponibilidade desses nutrientes e evitar deficiências. Compreender as relações entre esses aspectos é fundamental para conhecer e explorar todo o potencial das folhas de *Sonchus oleraceus*.

Na literatura não foram encontrados estudos que explorem a otimização de processos de extração de fenólicos, bem como a digestão gastrointestinal *in vitro* desses compostos em

folhas de serralha cultivadas no Brasil. Também não foram encontrados estudos sobre o perfil de compostos bioativos e fatores antinutricionais de serralhas produzidas no Brasil. Neste contexto, propõe-se, neste estudo, uma investigação inédita, utilizando o planejamento de misturas de solventes simplex-centróide para determinar as melhores condições de extração de compostos fenólicos da folha de serralha, avaliando-os após a digestão gastrointestinal *in vitro*. Além disso, foram avaliados o perfil fitoquímico, o teor de vitamina C total, carotenoides e quantificados fatores anti-nutricionais dessas folhas produzidas no Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Colheita e preparo das amostras

Folhas saudáveis em fase vegetativa de *Sonchus oleraceus* foram colhidas em um único dia, em uma propriedade rural no município de Lavras, (21°17'54.4"S e 44°56'37.6"W) no estado de Minas Gerais, Brasil. As folhas foram transportadas no mesmo dia à planta piloto de processamento de produtos vegetais da Universidade Federal de Lavras, onde foram lavadas em água corrente e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 100ppm, por 10 minutos. Porções selecionadas aleatoriamente foram congeladas com nitrogênio líquido e armazenadas a -80°C para realização das análises.

2.2. Planejamento experimental de misturas e análise estatísticas

O planejamento do experimento de mistura simplex-centróide foi realizado no software Design Expert 11 e utilizado para explorar o efeito de diferentes solventes (água, etanol e metanol) e suas misturas na extração de compostos fenólicos totais nas folhas de *Sonchus oleraceus* para determinar o ponto ótimo de extração para maximizar a resposta estudada. Para definição do experimento de simplex-centróide, os diferentes solventes foram avaliados como componentes puros e a seleção da melhor solução considerou a desejabilidade, ou ponto ótimo, que representa a condição ideal para a resposta máxima. Esse ponto deve ser 1 ou o mais próximo possível de 1. Cada solvente no sistema foi estudado de acordo com os nove testes apresentados na Tabela 1. A variável resposta estudada foi a concentração de compostos fenólicos totais determinada pelo método de Fast blue. A análise de variância (ANOVA) e a análise de regressão foram usadas para avaliar o modelo de previsão matemática (valor de $p <$

0,05). O gráfico de contorno foi gerado a partir do modelo cúbico especial ajustado selecionado pelo software Design Expert 11.

Tabela 1 - Representação do design simplex-centróide para três componentes e identificação dos fatores do sistema de solventes.

Ponto experimental	Variáveis independentes		
	Água	Etanol	Metanol
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5
7	0,33	0,33	0,33
8	0,33	0,33	0,33
9	0,33	0,33	0,33

Fonte: Da autora (2024).

Todos os ensaios foram realizados com dez repetições, exceto a triagem fitoquímica, em três repetições. Cada parcela experimental foi composta por 25 g de folha de serralha. Os resultados foram descritos como a média e o desvio padrão.

2.3 Extração de compostos fenólicos totais

Para elaboração do extrato, foi pesado, aproximadamente, 1g de folhas de serralha, que foi homogeneizado com solvente e, em seguida, levado ao banho ultrassom por 30 minutos, ao abrigo da luz. Posteriormente, os extratos permaneceram em agitação por 30 minutos, ao abrigo da luz, com o auxílio de uma mesa de agitação. Ao final, o extrato foi filtrado em papel filtro quantitativo medindo 12,5cm e porosidade de 0,025mm. Os extratos foram utilizados para a determinação de fenólicos totais e determinação da atividade antioxidante.

2.4 Teor de fenólicos totais e determinação da atividade antioxidante

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando o ensaio de Fast Blue. Este método se baseia na reação do grupo diazônio (+N=N-) com grupamentos hidroxilas reativos dos compostos fenólicos (-OH), formando complexos azo estáveis, medidos espectrofotometricamente em leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®) a 420nm (Medina, 2011). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de equivalente de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra.

A atividade antioxidante das folhas de serralha foi avaliada por meio de três métodos: captura de radical livre ABTS *+ (μM de TROLOX g^{-1} de amostra) e sistema β -caroteno/ácido linoléico (% de proteção) de acordo com (Rufino *et al.*, 2010) e complexo fosfomolibdênio, os resultados da atividade antioxidante foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra *in natura*, com base em uma curva de calibração com concentrações conhecidas de ácido ascórbico (Prieto, Pineda, Aguilar, 1999).

2.5 Extração e triagem fitoquímica por HPLC

Aproximadamente 1g de folhas de serralha foram acondicionadas em tubos falcon, juntamente com 10 mL de metanol grau HPLC a 70%. As amostras foram agitadas em mesa agitadora por 30 minutos ao abrigo da luz e depois colocadas em banho ultrassônico por mais 30 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro quantitativo medindo 12,5cm e porosidade de 0,025mm. Uma segunda filtração foi realizada com filtro de membrana de 13mm de diâmetro e porosidade de 0,00022mm e uma alíquota de cada filtrado foi colocada em frascos de 1,5mL para injeção. A cromatografia líquida de alta eficiência foi realizada na Central de Análises e Prospecção Química no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Utilizou-se um HPLC Shimadzu, composto por bomba quaternária LC-20AT, desgaseificador DGU-20A5, injetor SIL-20A, controlador CBM-20A, forno CTO-20AC, detector SPDM-20A, detector RID-10A. e coletor de frações FRC-10A. A injeção seguiu os seguintes parâmetros: programa de tempo Lc: 0,01 min - 0% B, 5 min - 20% B; 25 min - 40% B; 43 min - 45% B; 50 min - 80% B; 55 min - 0% B; 65 min - PARAR; Fluxo: 1 mL/min; Temperatura do forno (°C): 35; Volume injetado: 0,02 mL; PAI: 280nm; Coluna Shim-pack VP-ODS 250 x 4,6 x 0,0005 mm e pré-coluna Shim-pack GVP-ODS 10 x 4,6 x 0,0005 mm; Fase móvel A – solução de ácido acético glacial a 2% em água tipo 1. 5.10.2; Fase

móvel B - Solução de metanol: água: ácido acético (70:28:2 %v/v). Foram utilizados 13 padrões, a saber: catequina, resveratrol, vanilina e ácidos gálico, clorogênico, ferúlico, cafeico, *o*-cumárico, *m*-cumárico, *p*-cumárico, siríngico, rosmarínico e *trans*-cinâmico. Os resultados obtidos foram expressos em mg 100 g⁻¹.

2.6 Vitamina C total

A vitamina C total foi extraída com ácido oxálico 0,5% sob agitação e o extrato filtrado em papel de filtro qualitativo com espessura de 0,2mm. A quantificação de vitamina C total no extrato foi determinado pelo método colorimétrico com 2,4-dinitrofenilhidrazina (DPNH) conforme (Strohecker *et al.*, 1967). Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra.

2.7 Carotenoides

Os carotenoides α -caroteno, β -caroteno e licopeno foram quantificados utilizando o método espectrofotométrico proposto por (Rodriguez-Amaya, 2001). O teor de cada carotenoide foi calculado segundo a Fórmula 1, em que A é a absorbância da solução no comprimento de onda específico, V é o volume final da solução, A1cm1% é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e M é a massa da amostra tomada para a análise em gramas. Os resultados foram expressos em μg por grama de amostra.

$$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} = \frac{A \times V \times 10^6}{A1\text{cm}1\% \times M \times 100}$$

Fórmula 1. Equação para determinação do teor de carotenoides.

2.8 Antinutricionais

Para determinar o teor de taninos, foi feito um extrato hidroetanólico (50/50 etanol:água v/v), com as folhas de serralha. O extrato foi determinado pelo método de Folin Ciocalteu. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido tânico por cem gramas de amostra fresca, com base em uma curva de calibração com concentrações conhecidas de ácido tânico (Mahajan, Prasad, Gaikwad, Itankar, 2023). A determinação de ácido oxálico foi realizada de acordo com

a metodologia proposta por Naik *et al.* (2014). A reação consiste na redução da coloração proporcionada pelo permanganato de potássio conforme a concentração de solução padrão de ácido oxálico aumenta. Os resultados foram expressos em gramas de ácido oxálico por cem gramas de amostra fresca, com base em uma curva de calibração com concentrações conhecidas de ácido oxálico.

2.9 Digestão gastrointestinal *in vitro*

Para o processo de digestão *in vitro* das folhas de serralha e para análise de digestibilidade foi utilizado o protocolo proposto por (Minekus *et al.*, 2014) adaptado por (Dantas *et al.*, 2021). Uma amostra de 5g de folhas de serralha foi misturada com 3,5mL de fluido salivar simulado (FSS), para simular a fase de digestão oral. A mistura foi incubada durante 2 minutos a $37^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ com agitação a 90 rpm. O bolus oral foi homogenizado com 7,5mL de fluido gástrico simulado (SGF), o pH ajustado para 3,0 com HCl 1M e a mistura incubada a $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas 90 rpm. A simulação da fase intestinal foi realizada misturando 20mL de quimo gástrico com 11mL de fluido intestinal simulado (SIF), o pH foi ajustado para 7,0 com NaOH 1 M e a mistura foi agitada a 90 rpm durante 2 horas a $37\pm 2^{\circ}\text{C}$.

O percentual de digestibilidade foi determinado usando a equação:

$$\% \text{ de digestibilidade} = (Dc \text{ intestinal} / Dc \text{ da amostra}) \times 100$$

onde DC intestinal corresponde à concentração de compostos fenólicos na fração intestinal e DC da amostra é a concentração de compostos nas folhas de serralha. A atividade antioxidante relativa após a digestão gastrointestinal também foi calculada, com base na mesma equação, substituindo-se a concentração de fenólicos pela atividade antioxidante na fórmula.

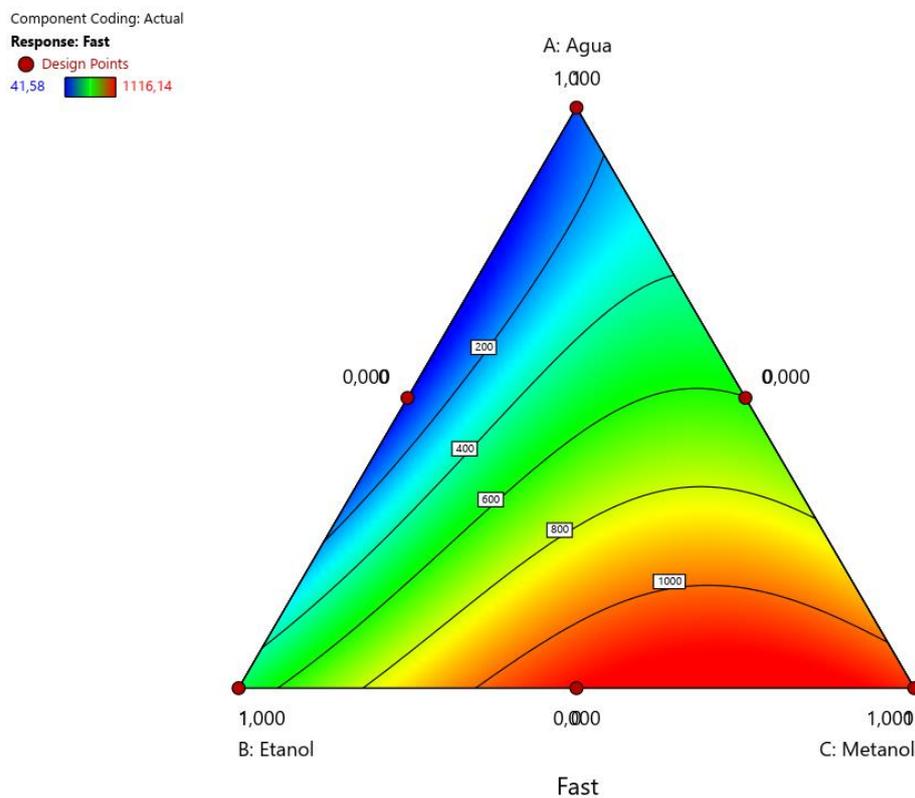
3. Resultados e discussão

3.1. Planejamento experimental de misturas para melhor condição para extração

O software Design Expert 11 selecionou como ponto ótimo 29,3% de etanol e 70,7% de metanol, tendo como resultado esperado o valor de 1179,07mg de EAG/100g de serralha (Figura1). Para confirmar a eficiência do ponto ótimo, foi realizada uma validação do método com uma concentração próxima à ideal: 30% de etanol e 70% de metanol, obtendo-se como

resultado o valor de 1257,94mg de EAG/100g de amostra, sendo essa proporção eficaz para maximizar a extração de compostos fenólicos. No gráfico de contorno, a coloração mais intensa em vermelho indica maior concentração do solvente, indicando melhores condições para extração de compostos fenólicos. O quadro de análise de variância para o modelo cúbico e os coeficientes em termos de fatores codificados são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. O modelo cúbico especial ajustado pelo Design Expert 11 foi escolhido com base na significância estatística geral do modelo, especialmente devido aos efeitos lineares da mistura e algumas interações significativas entre os fatores AB e BC.

Figura 1. Gráfico de contorno na escolha da composição do extrato a ser utilizado nas folhas de serralha nas análises de compostos fenólicos totais.



Fonte: Da autora (2024).

Tabela 2 - Tabela de análise de variância com o modelo cúbico para melhor condição de extração de compostos fenólicos em folhas de serralha.

Termos	Soma dos quadrados	df	Quadrado médio	Valor de F	p-valor	
Modelo	1,088E+06	6	1,813E+05	172,21	0,0058	significativo
Linear						
Mistura	8,956E+05	2	4,478E+05	425,33	0,0023	
AB	47121,16	1	47121,16	44,76	0,0216	
AC	17,75	1	17,75	0,0169	0,9086	
BC	73535,86	1	73535,86	69,85	0,0140	
ABC	18916,45	1	18916,45	17,97	0,0514	
Erro puro	2105,61	2	1052,81			
Total	1,090E+06	8				

Coefficientes da equação: A: água; B: etanol; C: metanol; AB: água + etanol; AC: água + metanol; BC: etanol + metanol; ABC: água + etanol + metanol.

Fonte: Da autora (2024).

Tabela 3 - Coeficientes da equação em termos de fatores codificados.

Componente	Coefficiente Estimado
A- Água	120,68
B- Etanol	494,20
C- Metanol	1073,84
AB	-1063,44
AC	20,64
BC	1328,48
ABC	3644,54

Fonte: Da autora (2024).

A combinação dos solventes metanol e etanol promoveu maior rendimento de extração de compostos fenólicos. Ambos os solventes possuem um grupo funcional hidroxila que lhes confere polaridade, podendo formar pontes de hidrogênio com outras moléculas. De acordo com Mohammed *et al.* (2022), a polaridade do solvente tem impacto significativo na extração de compostos. Solventes polares apresentam melhor eficiência, devido às interações (ligações de hidrogênio) entre os sítios polares dos compostos antioxidantes e o solvente. O metanol é

um dos solventes mais efetivos na extração de fenólicos, sendo que ajustes na sua concentração e a combinação com outros solventes alteram a polaridade do agente extrator e, conseqüentemente, a solubilidade dos compostos fenólicos, aumentando a eficiência do processo de extração (Do *et al.*, 2022; Salih *et al.*, 2021), como observado no presente trabalho.

3.2. Triagem fitoquímica de folhas de serralha

Dentre os 13 compostos estudados nas folhas de serralha, apenas dois fenólicos foram identificados, o ácido gálico ($1091,29 \pm 0,21$ mg/100g de amostra fresca), em maior proporção, e o ácido clorogênico ($154,4 \pm 1,80$ mg/100g de amostra fresca). A confirmação do ácido gálico como fenólico majoritário conversa com o relato de Al Juhaimi, *et al.* (2017) que o identificou como o composto mais abundante nas folhas de serralha. Sergio *et al.* (2020) identificaram o ácido chicório como o majoritário nas folhas de *Sonchus oleraceus*, seguido pelo ácido clorogênico, o segundo também identificado no presente trabalho. Fatores genéticos, exposição à luz, composição do solo, clima, estresses e práticas agrícolas têm influência direta nos constituintes químicos presentes nas plantas (Li *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2023). O ácido gálico, composto majoritário das folhas de serralha, é amplamente conhecido devido a sua atividade antioxidante, que auxilia na prevenção do envelhecimento precoce e doenças crônico-degenerativas como câncer, doenças cardíacas e Alzheimer, além da sua atividade anti-inflamatória e antibacteriana (Gao *et al.*, 2019; Kahkeshani *et al.*, 2019; Soltani *et al.*, 2023). Já o ácido clorogênico, também identificado na serralha, possui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antidiabéticas e neuroprotetoras (Abreu *et al.*, 2024; Clifford *et al.*, 2017; Ong, Hsu, Tan, 2012). Sendo assim, as folhas de serralha são uma ótima opção de consumo, visando-se a melhoria e manutenção da saúde da população, podendo ser utilizadas como fonte de ácidos gálico e clorogênico pelas indústrias alimentícia e farmacêutica.

3.3. Compostos bioativos e atividade antioxidante

Na Tabela 4 estão descritos os resultados do teor de fenólicos totais, vitamina C, carotenoides e da atividade antioxidante, bem como de fatores antinutricionais das folhas de serralha *in natura*. Os resultados indicam que as folhas de serralha possuem uma alta atividade antioxidante, que pode ser atribuída à presença dos compostos bioativos quantificados, fenólicos, com ênfase para os ácidos gálico e clorogênico, vitamina C e carotenoides. Em comparação com a alface vermelha, que apresentou 123mg de EAG/100g em base seca (Shi *et*

al. 2022) e outras folhas comestíveis não convencionais, como *Xanthosoma sagittifolium* L. (33,41mg EAG/100g) e *Stachys byzantina* K. Koch (209,40mg EAG/100g) (Silva *et al.* 2021), as folhas de serralha deste estudo demonstraram teor superior de compostos fenólicos totais (1257,94 mg EAG/100g).

Tabela 4 - Média (\pm desvio padrão) dos valores de fenólicos totais, vitamina C, carotenóides, atividade antioxidante e antinutricionais de folhas de serralha *in natura*.

Fast blue (mg EAG/100g)	1257,94 \pm 20,56
Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g)	848,29 \pm 12,22
α -caroteno (μ g/ g de serralha)	265,00 \pm 55,68
β -caroteno (μ g/ g de serralha)	300,19 \pm 56,90
Licopeno (μ g/ g de serralha)	280,82 \pm 56,88
ABTS *+ (μ M de TROLOX g ⁻¹ de amostra)	1295,33 \pm 54,62
β -caroteno/ácido linoléico (% de proteção)	93,51 \pm 4,34
Complexo fosfomolibdênio (mg de ácido ascórbico/100g)	229,29 \pm 3,35
Taninos (mg de ác. tânico/100g)	102,13 \pm 15,37
Ácido oxálico (g de ác. oxálico/100g)	4,82 \pm 0,15

Fonte: Da autora (2024).

As folhas de serralha do presente estudo apresentaram 848,29 mg de ácido ascórbico em cem gramas de amostra, teor elevado, quando comparado com frutas e hortaliças conhecidas por serem fontes de vitamina C, como laranja (60mg/100g), goiaba (228,3mg/100g), morango (28,8mg/100g), espinafre (28,1mg/100g), brócolis e (89,2mg/100g) (USDA, 2024). Com base na ingestão de referência dietária, para adultos, entre 19 e 70 anos (National Academies of Sciences, 2019), de ambos os sexos, pode-se afirmar que uma porção de apenas 10 gramas de folhas de serralha supriria praticamente toda a necessidade diária desse nutriente. A vitamina C é um micronutriente essencial para o corpo humano, e devido a sua propriedade antioxidante, auxilia na promoção da saúde e na prevenção de doenças crônicas como catarata, câncer e doenças cardiovasculares (El-Malla *et al.*,2022).

Na Tabela 4 são apresentados os valores de α -caroteno, β -caroteno e licopeno. Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis encontrados nas plantas e possuem diversas funções biológicas. A ingestão de alimentos ricos nesses pigmentos está associada à prevenção de certos tipos de câncer, doenças cardiovasculares, doenças do envelhecimento ocular e diminuição de

processos inflamatórios (Jahns *et al.*, 2018; Kopsell & Kopsell, 2010). Comparando o teor de α -caroteno e β -caroteno nas folhas de serralha (Tabela 4) com o teor encontrado na cenoura (*Daucus carota L.*) (545,09 $\mu\text{g/g}$ e 240,2 $\mu\text{g/g}$, respectivamente) hortaliça conhecida por ser fonte dessas substâncias (Song *et al.*, 2024), podemos observar que as folhas de serralha apresentam aproximadamente metade do teor de α -caroteno e um teor ligeiramente maior de β -caroteno em comparação com a cenoura. Consumir uma variedade de alimentos ricos em carotenoides, ajuda a garantir uma ingestão equilibrada de nutrientes essenciais para a saúde. Em comparação com o tomate (*Solanum lycopersicum L.*), alimento fonte de licopeno que apresenta em média 4049,7 $\mu\text{g/g}$ de licopeno (Li *et al.*, 2024), as folhas de serralha não são uma fonte desse carotenoide, pois o teor de licopeno é muito menor nelas. A incorporação de folhas de serralha na dieta contribui para uma diversificação na alimentação e a ingestão desses compostos, promovendo uma melhora na saúde dos indivíduos a longo prazo.

Os testes de atividade antioxidante revelaram que os compostos encontrados nas folhas de serralha possuem elevada capacidade antioxidante, conforme demonstrado em diversos ensaios realizados. Esses compostos mostraram-se altamente eficazes na neutralização do radical ABTS*+ e na proteção contra a oxidação lipídica no método β -caroteno/ácido linoleico, indicando potencial para a prevenção de doenças associadas ao estresse oxidativo. Além disso, a atividade redutora das folhas de serralha no ensaio do complexo fosfomolibdênio sugere a presença de compostos como fenólicos, os quais são conhecidos por sua capacidade de doação de elétrons através de grupos hidroxila (-OH).

Foram quantificados os teores de ácido tânico (102,13 \pm 15,37mg/100g) e ácido oxálico (4,82 \pm 0,15g/100g) nas folhas de serralha. Ambos os compostos são considerados fatores antinutricionais, substâncias presentes naturalmente nos vegetais que quando ingeridos em altas concentrações podem interferir na digestibilidade, absorção ou utilização de nutrientes e acarretar efeitos prejudiciais à saúde humana (Sarkar *et al.*, 2023). Estudos tanto *in vitro* quanto *in vivo* indicam que, para que a toxicidade por taninos se manifeste, é necessária uma ingestão superior a 2000mg/kg de peso corporal (Maugeri *et al.* 2022). Logo o risco de intoxicação por taninos a partir do consumo de folhas de serralha é praticamente nulo. Já para o ácido oxálico, o consumo a longo prazo e superior a 600 mg/dia pode desencadear hiperoxalúria (Filho *et al.* 2023). Sendo assim, o consumo de folhas de serralha deve ser evitado por pessoas com patologias renais, já para o público em geral, seu consumo deve ser feito em pequenas porções, e aplicar técnicas de cozimentos, que podem reduzir ou neutralizar essas substâncias, visto que esses compostos são sensíveis a altas temperaturas (Popova & Mihaylova, 2019), além do

conhecimento tradicional das comunidades que consomem folhas de serralha, demonstram que seu consumo é seguro (Sanchez-Aguirre *et al.*, 2024).

3.4. Compostos fenólicos e atividade antioxidante após digestão gastrointestinal *in vitro*

Na Tabela 5 são apresentados os teores de ácidos gálico e clorogênico, bem como de fenólicos totais, antes e após a digestão gastrointestinal *in vitro* das folhas de serralha. O percentual de digestibilidade dos compostos fenólicos depende da liberação desses compostos da matriz alimentar e de sua estabilidade no trato gastrointestinal. É uma maneira de estimar a quantidade de compostos que podem ser absorvidos e seus efeitos benéficos ao organismo, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e moduladoras da microbiota intestinal (Dantas *et al.*, 2023). Os fenólicos totais, bem como os ácidos gálico e clorogênico, diminuíram substancialmente após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. Na literatura não foram encontrados trabalhos que avaliassem a digestão gastrointestinal *in vitro* de compostos fenólicos em folhas de serralha cultivadas no Brasil. Entretanto, um grupo de pesquisadores da Nova Zelândia avaliou o perfil de compostos fenólicos e sua atividade antioxidante associada em extratos metanólicos de folhas cruas e cozidas de *S. oleraceus*, antes e após digestão gastrointestinal *in vitro* (Mawalagedera *et al.*, 2016). Os autores relataram que os principais compostos fenólicos encontrados foram os ácidos caftárico, clorogênico e chicórico, constatando atividade antioxidante nos extratos, tanto antes, quanto após a digestão gastrointestinal *in vitro*. Diferente do observado no presente trabalho, os teores de ácido clorogênico, antes e após digestão, não diferiram significativamente, enquanto os teores de fenólicos totais aumentaram após digestão *in vitro*.

A digestão gastrointestinal pode provocar uma diminuição nos níveis de compostos fenólicos, o que pode ser explicado, em parte, pela interação desses compostos com as enzimas digestivas e pelas alterações de pH que afetam a estabilidade das moléculas e consequentemente, sua absorção (Wojtunik-Kulesza *et al.*, 2020). O ácido clorogênico e o ácido gálico são mais estáveis em faixas baixas de pH (4–5) e apresentam menor estabilidade em pH alcalino ou neutro, o mesmo da primeira e última etapa da digestão *in vitro* (Xie *et al.*, 2011). Durante a fase gástrica, o ácido clorogênico se liga à pepsina e forma um complexo por meio de interações de Van der Waals e ligações de hidrogênio. Além disso, ele reduz a velocidade de hidrólise da pancreatina na fase intestinal (Soares *et al.*, 2021). A redução do ácido gálico pode ser atribuída, principalmente, à sua estrutura, que contém três grupos hidroxila (Pais *et al.*, 2024). Em pH alcalino, ocorre a desprotonação da molécula de ácido gálico, o que diminui

sua estabilidade, tornando-o mais susceptível a reações de oxidação. Os ácidos fenólicos geralmente são mais absorvidos no trato gastrointestinal superior, na fase gástrica, e durante a fermentação colônica (Shi *et al.*, 2022). Sugere-se que em estudos futuros, seja determinado a digestibilidade dos compostos das folhas de serralha após a ação da microbiota intestinal.

Tabela 5 - Média dos valores (\pm desvio padrão) de compostos fenólicos presentes nas folhas de serralha, fluido intestinal e percentual de digestibilidade gastrointestinal *in vitro*.

Composto	Folhas de serralha	Fluido intestinal após digestão	% digestibilidade
Ácido gálico (mg/100g)	1091,29 \pm 5,17	8,55 \pm 1,04	0,78 \pm 0,34
Ácido clorogênico (mg/100g)	154,40 \pm 1,80	0,52 \pm 0,07	0,33 \pm 0,06
Fenólicos totais (mg EAG/100g)	1257,94 \pm 20,56	21,54 \pm 5,91	1,74 \pm 0,47

Fonte: Da autora (2024).

Na Tabela 6 podemos observar uma diminuição da atividade antioxidante após a digestão gastrointestinal *in vitro*, independentemente do método de avaliação. Ao se comparar a atividade antioxidante antes e após a digestão *in vitro*, nota-se maior atividade relativa medida pelo método ABTS* (82,14%), seguido pelo método fosfomolibdênio (35,53%), enquanto a menor atividade antioxidante relativa foi observada quando se utilizou o método β -caroteno/ácido linoléico (6,57%). Mesmo que o percentual de conservação dos ácidos gálico e clorogênico, bem como de fenólicos totais, após digestão gastrointestinal *in vitro*, tenha sido ínfima, o percentual de conservação da atividade antioxidante não o foi. Isso sugere que outros compostos bioativos, com atividade antioxidante, foram mais bem preservados. De fato, as reações químicas e enzimáticas durante a digestão afetam a integridade dos compostos e consequentemente, sua eficácia como antioxidante (Abreu *et al.*, 2024). Ao contrário do observado no presente trabalho, a atividade antioxidante de extratos metanólicos de serralha aumentaram após a digestão *in vitro* (Mawalagedera *et al.*, 2016).

Tabela 6 - Média dos valores (\pm desvio padrão) de atividade antioxidante nas folhas de serralha e no fluido intestinal e percentual da atividade antioxidante no fluido intestinal após digestão, em comparação com as folhas.

Atividade antioxidante	Folhas de serralha	Fluido intestinal após digestão	% atividade antioxidante após digestão
ABTS *+ (μ M de TROLOX g^{-1} de amostra)	1295,33 \pm 54,62	1064,09 \pm 7,97	82,14 \pm 0,61
β -caroteno/ácido linoléico (% de proteção)	93,51 \pm 4,34	6,15 \pm 1,58	6,57 \pm 1,69
Complexo fosfomolibdênio (mg de ácido ascórbico/100g)	229,29 \pm 3,35	81,48 \pm 22,74	35,53 \pm 9,19

Fonte: Da autora (2024).

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, as folhas de serralha são uma fonte rica e promissora de compostos bioativos, incluindo ácido gálico, ácido clorogênico, vitamina C e carotenoides. A utilização de métodos eficazes de extração, como a combinação de solventes como metanol e etanol (70/30 v/v), demonstrou ser fundamental para a melhor extração de compostos fenólicos. A digestão gastrointestinal *in vitro* reduz drasticamente os teores de ácidos gálico e clorogênico, bem como de fenólicos totais nas folhas de serralha. O estudo em questão se destaca por ser pioneiro na avaliação da digestibilidade gastrointestinal de compostos fenólicos em folhas de serralha *in vitro*. Esses resultados destacam a importância do consumo das folhas de serralha e sua viabilidade para aplicações na indústria farmacêutica e de alimentos. Sugere-se estudos futuros para identificar e quantificar outros compostos bioativos, após a fermentação colônica, além de estratégias para preservar os compostos presentes nas folhas de serralha após digestão gastrointestinal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, T. L.; ESTÉVEZ, M.; DE CARVALHO, L. M.; DE MEDEIROS, L. L. *et al.* Unveiling the bioactivity and bioaccessibility of phenolic compounds from organic coffee

husks using an in vitro digestion model. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 104, n. 3, p. 1833-1842, 2024/02/01 2024.

ADAMUS, J.; ABRAM, K.; BANAS, P.; PIERZCHAŁA, J. R. *et al.* New uses for vitamin C, and its versatile, pleiotropic antioxidant action. - Treatment of neoplasms, skin diseases, bone diseases and stimulation of the immune system. **Journal of Education, Health and Sport**, 13, n. 3, p. 217-222, 02/06 2023.

AL JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; AHMED, I. A. M.; BABIKER, E. E. *et al.* Comparative study of mineral and oxidative status of *Sonchus oleraceus*, *Moringa oleifera* and *Moringa peregrina* leaves. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 11, n. 4, p. 1745-1751, 2017/12/01 2017.

BARBOSA, D. M.; SANTOS, G. M. C. D.; GOMES, D. L.; SANTOS, É. M. D. C. *et al.* Does the label 'unconventional food plant' influence food acceptance by potential consumers? A first approach. **Heliyon**, 7, n. 4, 2021. Article.

CLIFFORD, Michael N.; JAGANATH, I. B.; LUDWIG, I. A.; CROZIER, A. Chlorogenic acids and the acyl-quinic acids: discovery, biosynthesis, bioavailability and bioactivity. **Natural Product Reports**, 34, n. 12, p. 1391-1421, 2017. 10.1039/C7NP00030H.

DANTAS, A. M.; BATISTA, J. D. F.; DOS SANTOS LIMA, M.; FERNANDES, F. A. N. *et al.* Effect of cold plasma on açai pulp: Enzymatic activity, color and bioaccessibility of phenolic compounds. **LWT**, 149, p. 111883, 2021/09/01/ 2021.

DANTAS, A. M.; FERNANDES, F. G.; MAGNANI, M.; DA SILVA CAMPELO BORGES, G. Gastrointestinal digestion assays for evaluating the bioaccessibility of phenolic compounds in fruits and their derivatives: an overview. **Food Research International**, 170, p. 112920, 2023/08/01/ 2023.

DO, T. H.; TRUONG, H. B.; NGUYEN, H. C. Optimization of Extraction of Phenolic Compounds from *Ocimum Basilicum* Leaves and Evaluation of Their Antioxidant Activity. **Pharmaceutical Chemistry Journal**, 54, n. 2, p. 162-169, 2020/05/01 2020.

DUTRA, R. L. T.; DANTAS, A. M.; MARQUES, D. d. A.; BATISTA, J. D. F. *et al.* Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, 100, p. 650-657, 2017/10/01/ 2017.

EGGERSDORFER, M.; WYSS, A. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 652, p. 18-26, 2018/08/15/ 2018.

EL-MALLA, S. F.; ELATTAR, R. H.; KAMAL, A. H.; MANSOUR, F. R. A highly sensitive switch-on spectrofluorometric method for determination of ascorbic acid using a selective eco-friendly approach. **Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc**, 270, p. 120802, Apr 5 2022.

FILHO, J. O. d. C. B.; MAGALHÃES, C. d. S.; DE SANTANA, D. C. A. S.; MARTINS FILHO, J. P. B. *et al.* Methodologies for determining oxalic acid in plant species consumed

- by humans: An integrative review. **Journal of Herbal Medicine**, 40, p. 100682, 2023/08/01/ 2023.
- GAO, J.; HU, J.; HU, D.; YANG, X. A Role of Gallic Acid in Oxidative Damage Diseases: A Comprehensive Review. **Natural Product Communications**, 14, n. 8, p. 1934578X19874174, 2019/08/01 2019.
- JAHNS, L.; CONRAD, Z.; JOHNSON, L. K.; WHIGHAM, L. D. *et al.* A diet high in carotenoid-rich vegetables and fruits favorably impacts inflammation status by increasing plasma concentrations of IFN- α 2 and decreasing MIP-1 β and TNF- α in healthy individuals during a controlled feeding trial. **Nutrition Research**, 52, p. 98-104, 2018/04/01/ 2018.
- KAHKESHANI, N.; FARZAEI, F.; FOTOUHI, M.; ALAVI, S. S. *et al.* Pharmacological effects of gallic acid in health and diseases: A mechanistic review. **Iran J Basic Med Sci**, 22, n. 3, p. 225-237, Mar 2019.
- KOPSELL, D. A.; KOPSELL, D. E. Chapter 40 - Carotenoids in Vegetables: Biosynthesis, Occurrence, Impacts on Human Health, and Potential for Manipulation. *In*: WATSON, R. R. e PREEDY, V. R. (Ed.). **Bioactive Foods in Promoting Health**. San Diego: Academic Press, 2010. p. 645-662.
- LI, J.; LIU, F.; WU, Y.; TANG, Z. *et al.* Evaluation of nutritional composition, biochemical, and quality attributes of different varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, 132, p. 106384, 2024/08/01/ 2024.
- LI, Y.; KONG, D.; FU, Y.; SUSSMAN, M. R. *et al.* The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. **Plant Physiol Biochem**, 148, p. 80-89, Mar 2020.
- MAHAJAN, R.; PRASAD, S.; GAIKWAD, S.; ITANKAR, P. Antioxidant phenolic compounds from seeds of *Hordeum vulgare* Linn. ameliorates diabetic nephropathy in streptozotocin-induced diabetic rats. **Journal of Traditional Chinese Medical Sciences**, 10, n. 3, p. 353-361, 2023/07/01/ 2023.
- MAUGERI, A.; LOMBARDO, G. E.; CIRMI, S.; SÜNTAR, I. *et al.* Pharmacology and toxicology of tannins. **Archives of Toxicology**, 96, n. 5, p. 1257-1277, 2022/05/01 2022.
- MAWALAGEDERA, S. M. M. R.; OU, Z.-Q.; MCDOWELL, A.; GOULD, K. S. Effects of boiling and in vitro gastrointestinal digestion on the antioxidant activity of *Sonchus oleraceus* leaves. **Food & Function**, 7, n. 3, p. 1515-1522, 2016. 10.1039/C5FO01508A.
- MEDINA, M. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, 3, p. 79-87, 04/01 2011.
- MILIÃO, G. L.; DE OLIVEIRA, A. P. H.; SOARES, L. d. S.; ARRUDA, T. R. *et al.* Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. **Future Foods**, 5, p. 100124, 2022/06/01/ 2022.

MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALLANCE, S. *et al.* A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. **Food Funct**, 5, n. 6, p. 1113-1124, Jun 2014.

MOHAMMED, E. A.; ABDALLA, I. G.; ALFAWAZ, M. A.; MOHAMMED, M. A. *et al.* Effects of Extraction Solvents on the Total Phenolic Content, Total Flavonoid Content, and Antioxidant Activity in the Aerial Part of Root Vegetables. **Agriculture**, v.12, n. 11, DOI: 10.3390/agriculture12111820.

MUNTEANU, I. G.; APETREI, C. Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. **Int J Mol Sci**, 22, n. 7, Mar 25 2021.

NAIK, V.; PATIL, N.; APARADH, V.; KARADGE, B. METHODOLOGY IN DETERMINATION OF OXALIC ACID IN PLANT TISSUE: A COMPARATIVE APPROACH. **Journal Global Trends in Pharmaceutical Sciences**, 5, p. 1662-1672, 01/18 2014.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, E., AND MEDICINE. Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Elements. PRESS, W. D. T. N. A. 2019.

ONG, K. W.; HSU, A.; TAN, B. K. Chlorogenic acid stimulates glucose transport in skeletal muscle via AMPK activation: a contributor to the beneficial effects of coffee on diabetes. **PLoS One**, 7, n. 3, p. e32718, 2012.

PAIS, A. C. S.; COSCUETA, E. R.; PINTADO, M. M.; SILVESTRE, A. J. D. *et al.* Exploring the bioaccessibility and intestinal absorption of major classes of pure phenolic compounds using in vitro simulated gastrointestinal digestion. **Heliyon**, p. e28894, 2024/03/27/ 2024.

PEERZADA, A. M.; O'DONNELL, C.; ADKINS, S. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, 41, n. 8, p. 136, 2019/07/16 2019.

PLATZER, M.; KIESE, S.; TYBUSSEK, T.; HERFELLNER, T. *et al.* Radical Scavenging Mechanisms of Phenolic Compounds: A Quantitative Structure-Property Relationship (QSPR) Study. 9, 2022-April-04 2022. Original Research.

POPOVA, A.; MIHAYLOVA, D. Antinutrients in Plant-based Foods: A Review. **Open Biotechnology Journal**, 13, p. 68-76, 2019.

PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. **Analytical Biochemistry**, 269, n. 2, p. 337-341, 1999/05/01/ 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Food**. 2001. 1-57881-072-8.

RUFINO, M. d. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121, n. 4, p. 996-1002, 2010/08/15/ 2010.

SALIH, A. M.; AL-QURAINY, F.; NADEEM, M.; TARROUM, M. *et al.* Optimization Method for Phenolic Compounds Extraction from Medicinal Plant (*Juniperus procera*) and Phytochemicals Screening. **Molecules**, v.26, n. 24, DOI: 10.3390/molecules26247454.

SANCHEZ-AGUIRRE, O. A.; SANCHEZ-MEDINA, A.; JUAREZ-AGUILAR, E.; BARREDA-CASTILLO, J. M. *et al.* *Sonchus oleraceus* L.: ethnomedical, phytochemical and pharmacological aspects. **Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol**, Feb 2 2024.

SARKAR, T.; SALAUDDIN, M.; ROY, S.; CHAKRABORTY, R. *et al.* Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 63, n. 33, p. 11679-11733, 2023/12/20 2023.

SERGIO, L.; BOARI, F.; PIERALICE, M.; LINSALATA, V. *et al.* Bioactive Phenolics and Antioxidant Capacity of Some Wild Edible Greens as Affected by Different Cooking Treatments. 9, n. 9, p. 1320, 2020.

SHAHIDA ANUSHA, S.; SALOME, D.; YASAMAN, E.; SAHAR, R. *et al.* Uses of carotenoid-rich ingredients to design functional foods: a review. **Journal of Food Bioactives**, 21, n. 0, 03/30 2023.

SHI, M.; WU, H.; LI, M.; LIU, Z. *et al.* Assessment of the bioaccessibility of phenolics from Australian grown lettuces by in vitro simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation. **Food Bioscience**, 48, p. 101754, 2022/08/01/ 2022.

SILVA, L. F. L. E.; SOUZA, D. C. D.; NASSUR, R. D. C. M. R.; BITTENCOURT, W. J. M. *et al.* Nutritional characterisation and grouping of unconventional vegetables in Brazil. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 96, n. 4, p. 508-513, 2021/07/04 2021.

SOARES, M. J.; SAMPAIO, G. R.; GUIZELLINI, G. M.; FIGUEIRA, M. S. *et al.* Regular and decaffeinated espresso coffee capsules: Unravelling the bioaccessibility of phenolic compounds and their antioxidant properties in milk model system upon in vitro digestion. **LWT**, 135, p. 110255, 2021/01/01/ 2021.

SOLTANI, A.; SHAMS ABADI, S. M.; RAEISI, M.; KOUHIHABIBIDEHKORDI, G. *et al.* Apoptosis-inducing Plant-based Phenolic Compounds are Effective on Leukemia Cell Lines. **Current Pharmaceutical Design**, 29, n. 14, p. 1092-1104, 2023.

SONG, H.; LU, Q.; SONG, T.; GAO, C. *et al.* Study on the Mechanism of Carotenoid Production and Accumulation in Orange Red Carrot (*Daucus carota* L.). **Scientia Horticulturae**, 327, p. 112825, 2024/03/01/ 2024.

STROHECKER, R.; MAYOR ZARAGOZA, F.; MAX HENNING, H. **Analisis de vitaminas : métodos comprobados.** 1967. 428 p.

USDA. National Nutrient Database FoodData Central. U. S. D. O. AGRICULTURE. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-search>. Acessado dia 01 de maio de 2024.

WOJTUNIK-KULESZA, K.; ONISZCZUK, A.; ONISZCZUK, T.; COMBRZYŃSKI, M. *et al.* Influence of In Vitro Digestion on Composition, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Food Polyphenols—A Non-Systematic Review. **Nutrients**, v.12, n. 5, DOI: 10.3390/nu12051401.

XIE, C.; YU, K.; ZHONG, D.; YUAN, T. *et al.* Investigation of Isomeric Transformations of Chlorogenic Acid in Buffers and Biological Matrixes by Ultrapformance Liquid Chromatography Coupled with Hybrid Quadrupole/Ion Mobility/Orthogonal Acceleration Time-of-Flight Mass Spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 59, n. 20, p. 11078-11087, 2011/10/26 2011.

XU, Z.; ULLAH, N.; DUAN, Y.; HOU, Z. *et al.* Editorial: Plant secondary metabolites and their effects on environmental adaptation based on functional genomics. **Front Genet**, 14, p. 1211639, 2023.

ZUGAZUA-GANADO, M.; BORDAGARAY, A.; EZENARRO, J.; GARCIA-ARRONA, R. *et al.* Adaptation of the Folin-Ciocalteu and Fast Blue BB spectrophotometric methods to digital image analysis for the determination of total phenolic content: Reduction of reaction time, interferences and sample analysis. **LWT**, 193, p. 115756, 2024/02/01/ 2024.

Artigo 2 - Impacto da temperatura de armazenamento e do processamento mínimo sobre a qualidade de folhas de *Sonchus oleraceus*

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

Ana Beatriz Silva Araújo¹, Rafael Carvalho do Lago¹, Elídio Zaidine Maurício Zitha², Gilson Gustavo Lucinda Machado¹, Elisângela Elena Nunes Carvalho¹, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas¹

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos, Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

² Centro de Investigação do Caju de Nassuruma, Nampula, Moçambique.

Resumo: A serralha (*Sonchus oleraceus*), apesar de considerada uma erva daninha, é uma planta da família Asteraceae que oferece benefícios à saúde. Consumida em pequenas comunidades em saladas e pratos refogados, é reconhecida como uma planta alimentícia não convencional. Este estudo visou determinar a temperatura ideal de armazenamento da serralha e o melhor tamanho de corte dessa hortaliça visando-se o produto minimamente processado. Em um primeiro experimento, folhas inteiras de serralha foram armazenadas à 0°C, 5°C e 10°C por até 10 dias. Em um segundo experimento, folhas de serralha foram cortadas em frações de 1 e 4 cm de comprimento e armazenadas à 5° por 10 dias. As seguintes análises foram realizadas: perda de massa, CO₂ na embalagem, coloração, clorofila total, vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante. A temperatura de 5°C foi considerada a ideal para o armazenamento da serralha, permitindo sua conservação por 10 dias. Por outro lado, a temperatura de armazenamento de 0°C causou injúria pelo frio e degradação de compostos e a de 10°C levou à deterioração das folhas, a partir dos seis dias de armazenamento. Quanto ao processamento mínimo, folhas cortadas em frações mais longas apresentaram maior longevidade sob armazenamento refrigerado. O armazenamento refrigerado da serralha sob temperatura ideal e a escolha do tamanho ideal de corte durante as operações de processamento mínimo são fundamentais para se maximizar sua vida útil, preservando-se sua qualidade.

Palavras-chave: atividade antioxidante, compostos bioativos, hortaliça minimamente processada, planta alimentícia não convencional, refrigeração, serralha.

1. INTRODUÇÃO

A serralha, conhecida cientificamente como *Sonchus oleraceus*, é uma planta da família Asteraceae que, apesar de ser considerada uma erva daninha, oferece diversos benefícios à saúde. Em pequenas comunidades suas folhas são consumidas refogadas, em saladas e também utilizadas na medicina tradicional, fazendo parte do grupo de plantas alimentícias não convencionais (PANC's), ou também conhecidas ao redor do mundo como plantas selvagens. Nativa da região mediterrânea, norte da África, Ásia temperada e tropical e Europa, a serralha tem seu crescimento predominante no inverno (Peerzada; O'donnell; Adkins, 2019). Uma estratégia para popularizar o consumo de PANC's e atender a demanda da população por alimentos frescos e saudáveis seria por meio da elaboração de hortaliças minimamente processadas.

Segundo a Associação Internacional de Produtos Frescos Processados (IFPA), vegetais minimamente processados são "qualquer fruta ou hortaliça, ou combinação dos mesmos, que tenha sido fisicamente alterada em relação à sua forma original, mas que permaneça em estado fresco" (Gorny, 2001). Para garantir a qualidade e segurança dos vegetais intactos e minimamente processados, é necessária a utilização da refrigeração combinada com outros métodos de preservação química e/ou física e um sistema de embalagem capaz de garantir maior vida útil e segurança ao consumidor (Gomes *et al.*, 2023). Baixas temperaturas diminuem a taxa de respiração e reduzem a população microbiana e a taxa de deterioração (Saini; Ko; Keum, 2017), porém são necessários estudos para garantir qual a temperatura ideal de refrigeração, para não desencadear um estresse térmico ou injúria causada pelo frio. O tamanho do corte ou fatiamento tem impacto crucial na qualidade de vegetais minimamente processados, visto que a perda da integridade da superfície dos vegetais aumenta significativamente a exposição ao oxigênio, à luz e aos microrganismos, acelerando a deterioração e reduzindo sua vida útil (De Corato, 2020).

Este estudo pioneiro investiga a temperatura ideal de armazenamento e o impacto do fatiamento na qualidade e vida útil das folhas de serralha, uma hortaliça não convencional. Em resposta às crescentes demandas por alimentos saudáveis e sustentáveis, o trabalho não apenas explora novos métodos de processamento que preservam nutrientes essenciais, mas também propõe soluções para promover segurança alimentar, proteger o meio ambiente e fortalecer economias locais. Ao abordar esses aspectos, o estudo contribui significativamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, promovendo sistemas alimentares mais resilientes e igualitários para o futuro. (Hunter *et al.*, 2019; Milião *et al.*, 2022).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Colheita e preparo das amostras

Folhas saudáveis de serralha (*Sonchus oleraceus*) em fase vegetativa foram coletadas em dois momentos distintos em uma propriedade rural em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°17'54.4"S e 44°56'37.6"W). A primeira colheita foi realizada para o experimento I, com o objetivo de definir qual a temperatura ideal de armazenamento. Após a definição da temperatura ideal, nova colheita foi realizada para a montagem do experimento II, variando dois tipos de corte das folhas de serralha. Após a colheita, as folhas foram transportadas para a Planta Piloto de Processamento de Produtos Vegetais da Universidade Federal de Lavras, lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 10 minutos. Após imersão na solução sanitizante, as amostras foram dispostas em mesa de aço inoxidável, para drenagem da solução.

2.2. Montagem dos experimentos: temperatura ideal e tipos de corte

O primeiro experimento consistiu no armazenamento de folhas de serralha em embalagens com fechamento “zip lock” de polietileno 100µm, sob as temperaturas 0°C, 5°C e 10°C±1 e umidade relativa de 92%±1,5, por 10 dias. Um segundo experimento foi executado avaliando-se dois tipos de corte nas folhas de serralha, que propiciaram frações de folhas com aproximadamente 1 cm e 4 cm de comprimento, respectivamente (Figura 1). A serralha minimamente processada foi acondicionada em embalagens de polietileno 100µm com fechamento “zip lock” e armazenada à 5°C±1 e umidade relativa de 92%±1,5, por 10 dias. A escolha dessa temperatura foi baseada nos resultados do experimento I. Em ambos os experimentos, a parcela experimental consistiu em aproximadamente 25 g de serralha e a avaliação das amostras foi realizada aos 0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento. No tempo zero e após cada período de armazenamento, as amostras foram avaliadas quanto à concentração de CO₂ dentro da embalagem, perda de massa, coloração, clorofila total, vitamina C, fenólicos totais e atividade antioxidante.

Figura 1 - Folhas de *Sonchus oleraceus* cortadas com aproximadamente um cm (A) e 4 cm (B) de comprimento.



Fonte: Da autora (2024).

2.3. Monitoramento da concentração de CO₂ dentro da embalagem

As concentrações de dióxido de carbono foram monitoradas com o auxílio do analisador de gases PBI Dansensor, por meio de uma pequena agulha inserida no headspace da embalagem. Para cada condição experimental, três pacotes diferentes foram testados. Os resultados foram expressos em % de CO₂.

2.4. Perda de massa

A massa das folhas de serralha foi avaliada em uma balança semi-analítica e os resultados foram expressos em porcentagem. A perda de massa foi determinada de acordo com a seguinte equação: $PM = [(m1 - m2)/m1] \times 100$, onde PM = perda de massa; m1 = massa inicial das folhas e m2 = a massa obtida em cada intervalo de análise.

2.5. Coloração

A coloração foi medida em três diferentes pontos das folhas usando um colorímetro Konica Minolta CR-400. As medições foram obtidas nos parâmetros de espaço de cores LAB da Comissão Internacional de l'Éclairage (CIE): L* (claridade, variando de 0 = preto a 100 =

branco), o croma (C^*), que denota a intensidade da cor geral (cromaticidade) e o ângulo hue que determina a cor.

2.6. Clorofila total

O teor de clorofila foi aferido em medidor eletrônico de clorofila, modelo ClorofiLOG – CFL1030 e os resultados expressos em miligramas de clorofila total por cem gramas de serralha.

2.7. Vitamina C

A vitamina C total foi extraída com ácido oxálico 0,5% sob agitação e o extrato filtrado em papel de filtro qualitativo com espessura de 0,2mm. A quantificação de vitamina C total no extrato foi determinado pelo método colorimétrico com 2,4-dinitrofenilhidrazina (DPNH) conforme Strohecker, Mayor Zaragoza, Max Henning (1967). Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra.

2.8. pH e Acidez Titulável

O pH foi determinado utilizando-se um pHmetro TECNAL® e a determinação da acidez titulável foi realizada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N, usando como indicador a fenolftaleína, sendo os resultados expressos em mg ácido cítrico $100g^{-1}$ de amostra, de acordo com a AOAC (2023).

2.9. Fenólicos totais e atividade antioxidante

O extrato foi obtido por meio da metodologia adaptada de Rufino *et al.*, 2010. Um grama de amostra foi homogeneizado, juntamente com sete mL de metanol, e o homogenato mantido em repouso por 30 minutos ao abrigo da luz. Posteriormente, o homogenato foi levado ao banho ultrassônico, por 15 minutos, seguido de centrifugação a 12298 g por 10 minutos e filtragem em papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15cm de diâmetro, Unifil®), transferindo-se o sobrenadante para um frasco escuro. Ao resíduo da primeira extração, adicionou-se 3mL de etanol, seguindo-se o mesmo procedimento adotado anteriormente, sendo que o sobrenadante

filtrado obtido foi juntado ao primeiro, em frasco escuro, e homogeneizado. O extrato obtido foi utilizado para posteriores análises.

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando o ensaio de Fast Blue, conforme descrito por Medina (2011). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado utilizando a equação da reta obtida a partir da curva padrão de equivalente de ácido gálico, e os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra.

A atividade antioxidante foi avaliada por meio de três métodos distintos: a captura do radical livre ABTS ^{•+} (expresso em μM de TROLOX g^{-1} de amostra), o sistema β -caroteno/ácido linoléico (expresso em % de proteção), ambos conforme descrito por Rufino *et al.* (2010) e o ensaio do complexo fosfomolibdênio, conforme Prieto, Pineda, Aguilar (1999), os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra, utilizando uma curva de calibração com concentrações conhecidas de ácido ascórbico.

2.10. Triagem fitoquímica

Apenas no experimento I, foi realizada a triagem fitoquímica ao longo do armazenamento das folhas de serralha, acondicionadas em diferentes temperaturas. Aproximadamente 1g de folhas de serralha foram acondicionadas em tubos falcon, juntamente com 10 mL de metanol grau HPLC a 70%. As amostras foram agitadas em mesa agitadora por 30 minutos ao abrigo da luz e depois colocadas em banho ultrassônico por mais 30 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro quantitativo medindo 12,5cm e porosidade de 0,025mm. Uma segunda filtração foi realizada com filtro de membrana de 13mm de diâmetro e porosidade de 0,00022mm e uma alíquota de cada filtrado foi colocada em frascos de 1,5mL para injeção. A cromatografia líquida de alta eficiência foi realizada na Central de Análises e Prospecção Química no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Utilizou-se um HPLC Shimadzu, composto por bomba quaternária LC-20AT, degaseificador DGU-20A5, injetor SIL-20A, controlador CBM-20A, forno CTO-20AC, detector SPDM-20A, detector RID-10A. e coletor de frações FRC-10A. A injeção seguiu os seguintes parâmetros: programa de tempo Lc: 0,01 min - 0% B, 5 min - 20% B; 25 min - 40% B; 43 min - 45% B; 50 min - 80% B; 55 min - 0% B; 65 min - PARAR; Fluxo: 1 mL/min; Temperatura do forno (°C): 35; Volume injetado: 0,02 mL; PAI: 280nm; Coluna Shim-pack VP-ODS 250 x 4,6 x 0,0005 mm e pré-coluna Shim-pack GVP-ODS 10 x 4,6 x 0,0005 mm; Fase móvel A – solução de ácido acético glacial a 2% em água tipo 1. 5.10.2; Fase móvel B - Solução de metanol: água: ácido acético (70:28:2 % v/v). Foram utilizados 13 padrões, a saber:

catequina, resveratrol, vanilina e ácidos gálico, clorogênico, ferúlico, cafeico, o-cumárico, m-cumárico, p-cumárico, siríngico, rosmarínico e trans-cinâmico. Os resultados obtidos foram expressos em mg 100 g⁻¹.

2.11. Análise estatística

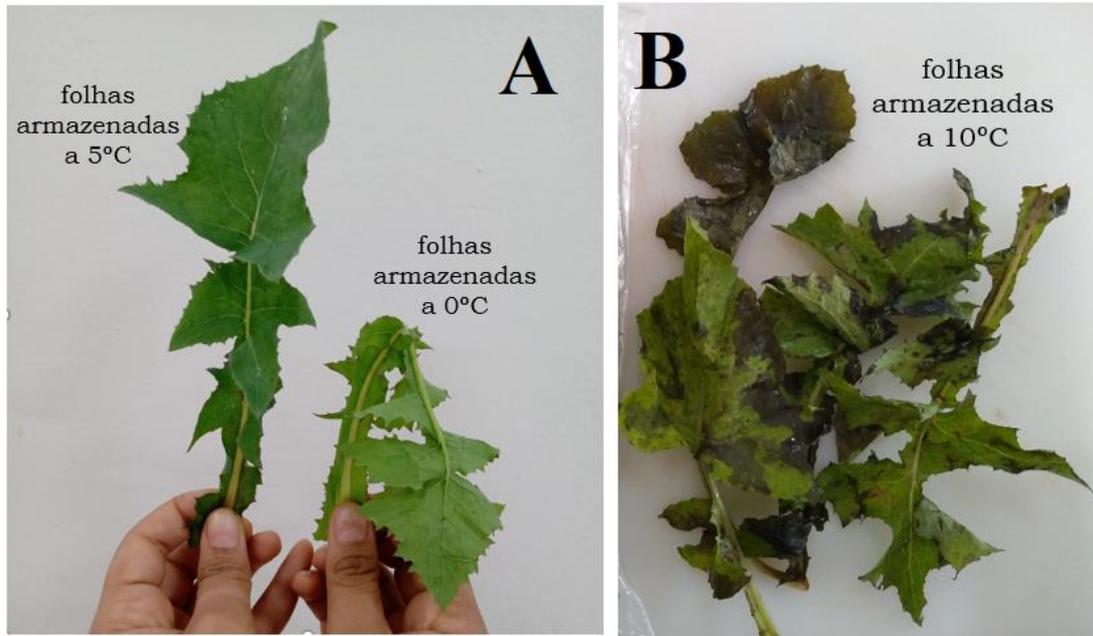
Os ensaios foram realizados em três repetições, sendo cada repetição composta por uma embalagem contendo aproximadamente 25g de folhas de serralha. Os dados foram expressos como a média. Todos os cálculos dos dados das análises químicas foram baseados em peso fresco. As médias foram submetidas à análise de variância e no caso de F significativo a 5%, comparadas pelo teste de Scott-Knot, ou submetidas à regressão polinomial, considerando-se o nível de significância de 5%. Apenas modelos de regressão polinomial com coeficiente de determinação maior ou igual a 70% foram considerados para discussão. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SISVAR® (Ferreira, 2019).

3. Resultados e discussão

3.1 Experimento I

No experimento 1, foram avaliados os efeitos dos fatores temperatura e tempo de armazenamento sobre a qualidade de folhas de serralha. Todas as variáveis analisadas nesse experimento foram influenciadas significativamente pela interação entre ambos os fatores ($p < 0,05$). Destaca-se que a partir de uma avaliação visual das folhas de serralha, imediatamente após o armazenamento refrigerado, notou-se que aquelas armazenadas por até 10 dias à 0°C e 5°C apresentavam-se com aspecto túrgido, sem amarelecimento e aparentemente saudáveis (Figura 2A). Já as folhas armazenadas à 10°C apresentaram sintomas de deterioração, a partir do sexto dia de armazenamento, com o surgimento de pontos amarelos, escurecimento, amolecimento e encharcamento, o que inviabilizaria sua comercialização e consumo (Figura 2B). Outro ponto a se ressaltar foi o murchamento das folhas armazenadas à 0°C, independente do período de armazenamento refrigerado, após retirada da câmara fria e 30 minutos de exposição à temperatura ambiente, fato não observado para as folhas armazenadas sob as demais temperaturas (Figura 2A). Essa observação sugere a sensibilidade das folhas de serralha ao chilling, sob a temperatura de 0°C, cujos sintomas se manifestam após exposição à temperatura ambiente.

Figura 2. A - Folhas de *Sonchus oleraceus* expostas à temperatura ambiente (24°C) por 30 min após 2 dias de armazenamento refrigerado à 5°C(A) e folha de *Sonchus oleraceus* (à direita) exposta a temperatura ambiente após refrigeração a 0°C e folha de *Sonchus oleraceus*. B – Folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas a 10°C após seis dias de armazenamento.



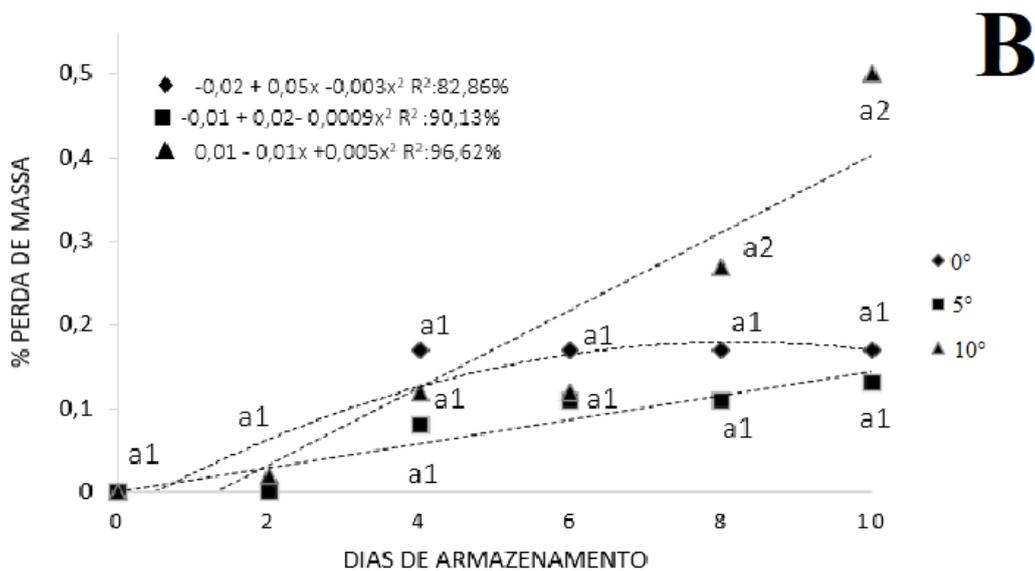
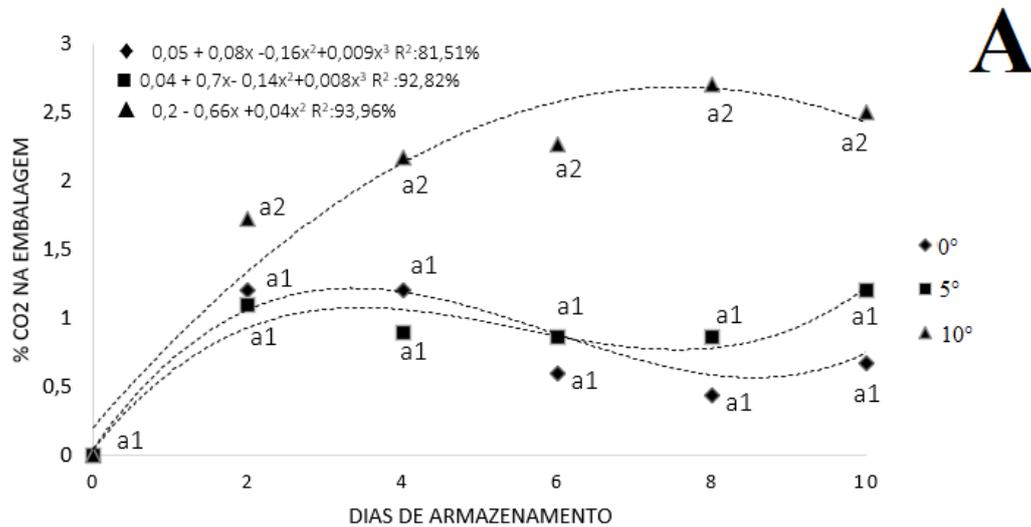
Fonte: Da autora (2024).

A temperatura de 10°C determinou maior acúmulo de CO₂ dentro das embalagens, em comparação às temperaturas mais baixas, ao longo de todo armazenamento ($p < 0,05$; Fig. 3A). Nenhuma diferença foi notada na concentração de CO₂ dentro das embalagens, aos 2 e 8 dias de armazenamento à 0 e 5°C ($p < 0,05$; Fig. 3A). Enquanto a temperatura de 0°C determinou o menor acúmulo de CO₂ aos 6 e 10 dias, a temperatura de 5°C promoveu menor acúmulo aos 4 dias de armazenamento ($p < 0,05$; Fig. 3A). O acúmulo de CO₂ dentro de embalagens utilizadas na conservação de hortaliças é um reflexo de sua permeabilidade, bem como da temperatura de armazenamento que afeta a atividade respiratória do vegetal. Quanto menor a temperatura, menor a atividade respiratória e menor o acúmulo do CO₂, produto da respiração. De fato, as menores temperaturas de armazenamento (0 e 5°C) promoveram os menores acúmulos de CO₂, em comparação à temperatura de 10°C. O estresse gerado pela temperatura de 0°C que promoveu o chilling nas folhas de serralha pode ter elevado sua atividade respiratória, resultando no maior acúmulo de CO₂, ou mesmo acúmulo semelhante, em comparação à temperatura de 5°C, durante o armazenamento.

Destaca-se que as folhas de serralha foram acondicionadas em embalagens flexíveis de polietileno com espessura de 100 μm . O acúmulo de CO_2 confirma o papel dessa embalagem como modificadora da atmosfera e potencial como coadjuvante do frio na conservação de serralha. Em sistemas de atmosfera modificada, o vegetal consome parcialmente o O_2 presente dentro da embalagem, liberando CO_2 , até um ponto de equilíbrio. O abaixamento do O_2 e elevação do CO_2 reduzem o metabolismo do vegetal, em especial sua atividade respiratória, contribuindo com a refrigeração para o aumento de sua vida útil. Logo, o acúmulo de CO_2 foi observado nas embalagens onde as folhas de serralha foram acondicionadas, dependente da temperatura de armazenamento.

Observou-se aumento na perda de massa das folhas da serralha ao longo do armazenamento, a despeito da temperatura ($p < 0,05$; Fig. 3B). Nenhum efeito diferencial da temperatura foi notado até o oitavo dia de armazenamento, no entanto, no décimo dia, as folhas armazenadas à 10°C apresentaram maior perda de massa que as armazenadas à 0 e 5°C ($p < 0,05$). De acordo com a lei de Van't Hoff, a temperatura influencia as taxas de reações biológicas, sendo que a velocidade de uma reação biológica tende a duplicar ou triplicar, para cada aumento de 10°C na temperatura (Silveira Alexandre *et al.*, 2022). De fato, as menores temperaturas de armazenamento (0 e 5°C) tenderam a promover as menores perdas de massa durante o armazenamento, embora um efeito significativo tenha sido observado apenas no décimo dia ($p < 0,05$). Sob temperaturas mais altas os vegetais apresentam metabolismo mais acelerado, perdendo massa mais rapidamente, em função da desidratação e descaboxilação, visto que H_2O e CO_2 são produtos respiratórios. O maior acúmulo de CO_2 notado nas embalagens sob 10°C sugere maior atividade respiratória das folhas armazenadas sob essa temperatura, podendo ser associado à maior perda de massa. A maior perda de massa pode também ser associada à maior taxa de transpiração, sob maiores temperaturas.

Figura 3. A- Valores médios de % CO₂ na embalagem para folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de % de perda de massa na embalagem para folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.

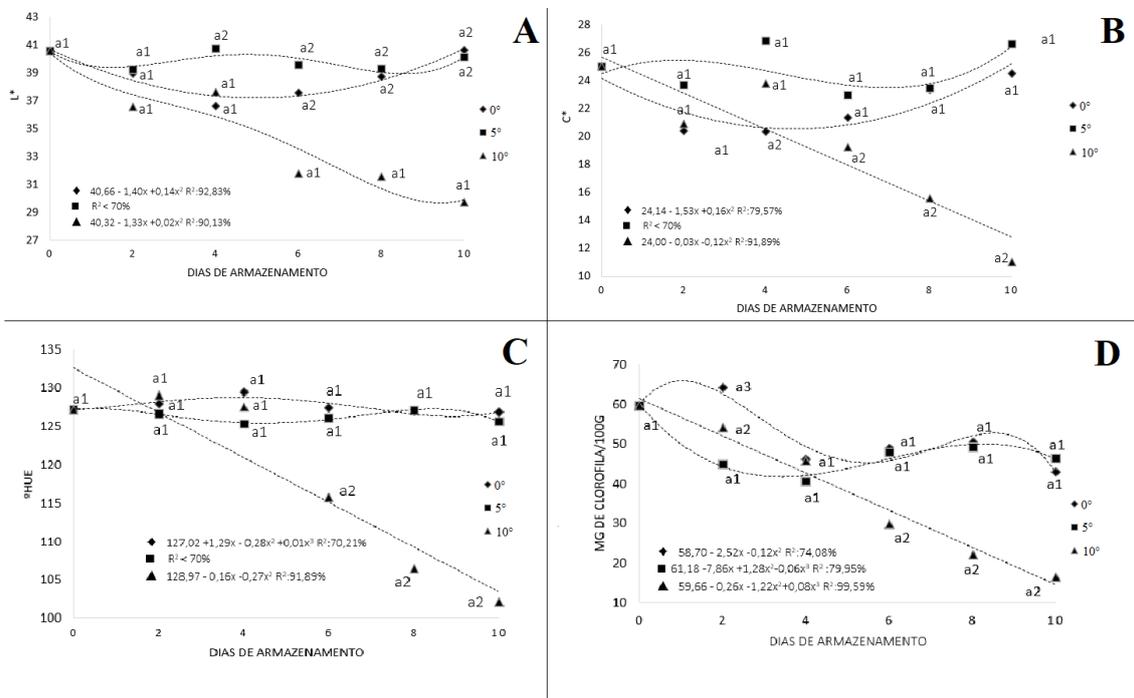


Fonte: Da autora (2024).

Reduções significativas ($p < 0,05$, Figura 4) nos valores L*, C*, h° e clorofila total foram observadas nas folhas de serralha armazenadas à 10°C. As temperaturas de 0 e 5°C foram efetivas em controlar essas alterações, principalmente a partir do sexto dia de armazenamento ($p < 0,05$), quando as folhas sob 10°C começaram a entrar em senescência (Figura 2B), apresentando amarelecimento, escurecimento e opacidade (menores valores de h°, L* e C*,

respectivamente). Com efeito, a senescência é um processo natural de envelhecimento e morte das células, que culmina na degradação de pigmentos e outros componentes celulares (Hassan *et al.*, 2021), o que resulta nas variações de cores observadas. As clorofilas são os principais pigmentos encontrados nas folhas que lhes conferem a coloração verde. Assim, a degradação da clorofila é conhecida como um dos mais importantes distúrbios pós-colheita em hortaliças folhosas (Hassan *et al.*, 2021), pois compromete sua aparência, podendo inviabilizar sua comercialização e consumo. Com base nos resultados apresentados, temperaturas de armazenamento abaixo de 10°C são mais eficazes na manutenção deste pigmento fotossintético, preservando a coloração das folhas de serralha. Os resultados relativos à coloração corroboram aqueles pertinentes ao acúmulo de CO₂ e perda de massa, que indicam metabolismo mais acelerado nas folhas armazenadas à 10°C, em comparação com aquelas sob 0 e 5°C.

Figura 4. ABC - Valores médios das variáveis de coloração de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. D - Valores médios de clorofila (mg/100g) de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.



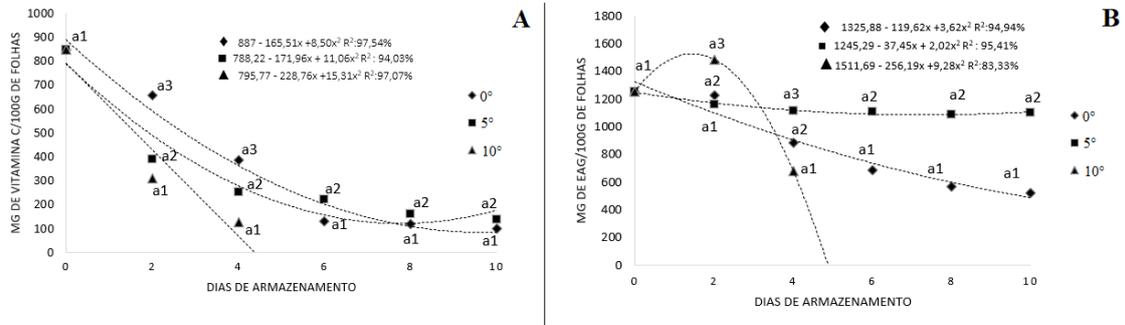
Fonte: Da autora (2024).

Os teores de vitamina C e fenólicos totais (Figura 5AB), bem como a atividade antioxidante medida pelos métodos ABTS+, β-caroteno/ácido linoleico e complexo

fosfomolibdênio (Figura 6), reduziram nas folhas de serralha, ao longo do seu armazenamento, independentemente da temperatura ($p < 0,05$; Fig. 5 e Fig. 6). Ressalta-se, entretanto, que as folhas armazenadas à 10°C por tempo igual ou superior a 6 dias não foram analisadas, por já se apresentarem em senescência, com sintomas nítidos de deterioração e inviáveis para consumo. Durante o armazenamento, o maior índice de redução nos teores de vitamina C e fenólicos e na atividade antioxidante medida pelos métodos ABTS+ e β -caroteno/ácido linoleico foi observado nas folhas armazenadas à 10°C. Ao se comparar as temperaturas de 0 e 5°C, nota-se maior efetividade da temperatura de 5°C na contenção da queda dessas variáveis. Visto que a temperatura de 0°C provocou sintomas associados ao chilling nas folhas de serralha após exposição à temperatura ambiente, entende-se que esse estresse gerado tenha provocado maior perda de vitamina e fenólicos, bem como da atividade antioxidante. O estresse oxidativo gera radicais livres que são combatidos por antioxidantes naturais dos vegetais, como a vitamina C e fenólicos. À medida que esses antioxidantes são utilizados, a atividade antioxidante tende a decrescer, como observado na serralha. De fato, o chilling é uma desordem fisiológica que desencadeia um estresse oxidativo, o que acaba consumindo os compostos bioativos presentes nas folhas e afeta diretamente sua qualidade e vida útil (Rodeo & Mitcham, 2024; Yi *et al.*, 2024).

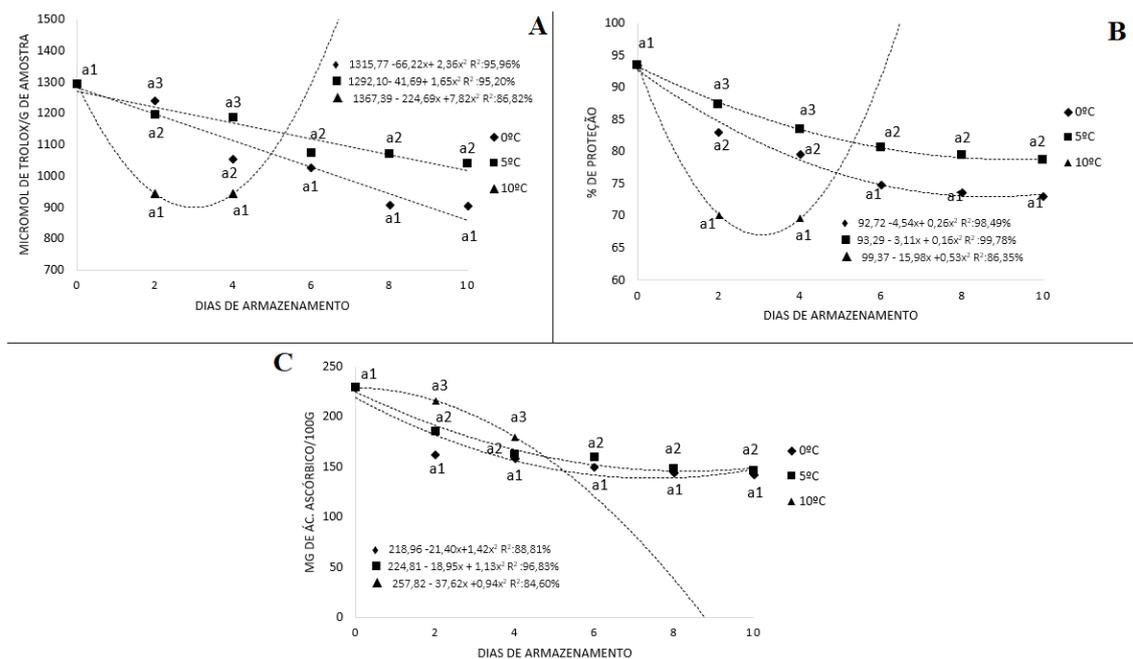
Ao contrário do observado para vitamina C, fenólicos e atividade antioxidante medida pelos métodos ABTS+ e β -caroteno/ácido linoleico, a atividade antioxidante medida pelo método do complexo fosfomolibdênio foi maior na serralha armazenada à 10°C. O aumento da atividade redutora nas folhas de serralha armazenadas à 10°C no ensaio do complexo fosfomolibdênio possivelmente está relacionado ao rompimento do compartimento celular por dano celular e à liberação de compostos fenólicos com grupos hidroxila (-OH) do interior das células para o meio extracelular, aumentando sua concentração no ensaio. Uma hipótese para a maior atividade antioxidante medida pelo método do complexo fosfomolibdênio à 10°C na serralha pode ser explicada pelo fenômeno de liberação de fenólicos devido ao dano celular, enquanto a não observação desse aumento nos métodos ABTS+ e β -caroteno/ácido linoleico pode ser atribuído às diferenças na sensibilidade e no tipo de reação que cada método avalia. O método ABTS+ avalia a atividade antioxidante por meio da capacidade de neutralizar radical livre ABTS+. Já o método β -caroteno/ácido linoleico mede a capacidade de proteger o β -caroteno da oxidação por radicais livres. Ambos os métodos são sensíveis a diferentes tipos de antioxidantes, incluindo fenólicos, mas podem não ser tão sensíveis à liberação específica de fenólicos devido ao dano celular.

Figura 5. A - Valores médios de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de fenólicos totais (mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100g) de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.



Fonte: Da autora (2024).

Figura 6. A - Valores médios de atividade antioxidante pelo método ABTS+* de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de atividade antioxidante pelo método β -caroteno/ácido linoleico de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. C - Valores médios de atividade antioxidante pelo método complexo fosfomolibdênio de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.



Fonte: Da autora (2024).

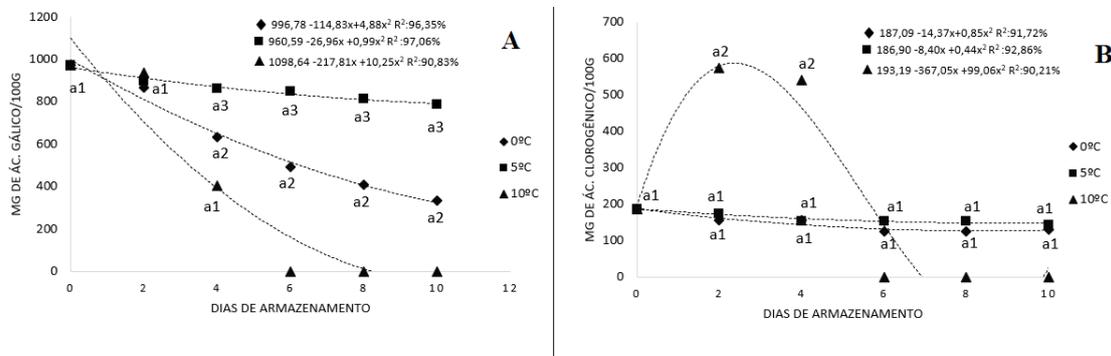
Dentro dos 15 compostos estudados, apenas dois foram identificados nas folhas de serralha, os ácidos gálico e clorogênico (Figura 7AB). O ácido gálico é reconhecido por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antibacterianas (Gao *et al.*, 2019; Kahkeshani *et al.*, 2019; Soltani *et al.*, 2023), enquanto o ácido clorogênico por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antidiabéticas e neuroprotetoras (Abreu *et al.*, 2024; CLIFFORD *et al.*, 2017; ONG *et al.*, 2012).

Sete compostos fenólicos foram identificados em folhas de *Sonchus oleraceus*, sendo o ácido chicórico o majoritário, seguido das formas 7-glicosiladas dos flavonoides apigenina e luteolina e dos ácidos caftárico, clorogênico, 3,5-di-cafeoilquínico, além de traços de ácido cafeico (Sergio *et al.*, 2020). Desses, apenas o ácido clorogênico foi identificado nas folhas de serralha do presente estudo. Todavia, a presença desses fenólicos não pode ser descartada, considerando-se que esses padrões não foram utilizados nas corridas cromatográficas.

Redução significativa nos ácidos gálico e clorogênico foi observada nas folhas de serralha armazenadas à 0 e 5°C, enquanto redução foi notada para o ácido gálico e aumento para o ácido clorogênico, nas folhas sob 10°C ($p < 0,05$). As folhas de serralha armazenadas à 5°C, ao longo dos dez dias de armazenamento, apresentaram 19,12% de degradação do ácido gálico e 23,14% do ácido clorogênico. Já nas folhas de serralha armazenadas à 0°C foram observados percentuais de degradação de 65,79% e 29,98%, respectivamente. Ressalta-se, mais uma vez, que as folhas armazenadas à 10°C foram analisadas apenas até o quarto dia, em função do estado de deterioração a partir do sexto dia de armazenamento. Notou-se redução de 41,69% nos teores de ácido gálico e um aumento de mais de 200% de ácido clorogênico, até o quarto dia de armazenamento. Com a exacerbação do metabolismo nas folhas armazenadas à 10°C, que culminou com o nítido comprometimento de sua qualidade aos 6 dias, os teores de ácido clorogênico podem ter aumentado em resposta ao estresse (Šilarov *et al.*, 2019).

Depreende-se, com base nos resultados obtidos no experimento 1, que a temperatura de 5°C foi a mais efetiva no prolongamento da vida útil de folhas de serralha, por retardar de forma efetiva sua perda de massa, alterações na coloração e perda de compostos bioativos e atividade antioxidante, sem provocar sintomas de chilling.

Figura 7. A - Valores médios de mg de ácido gálico/100g para folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias. B - Valores médios de mg de ácido clorogênico/100g para folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas em diferentes temperaturas por 10 dias.



Fonte: Da autora (2024).

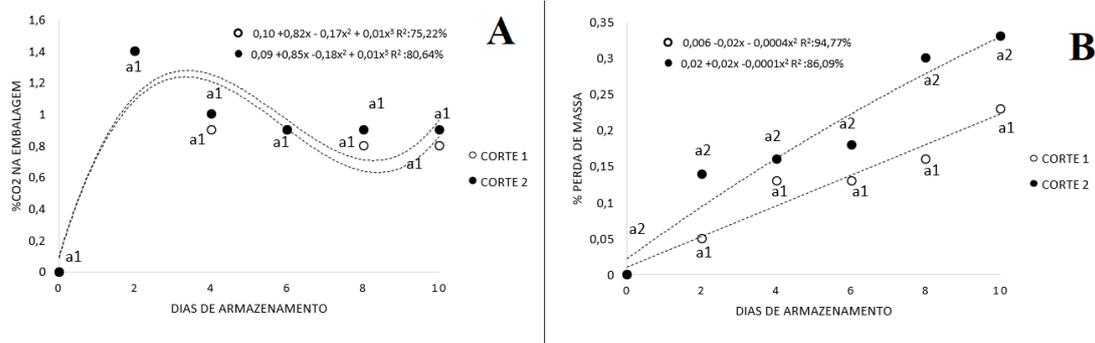
3.2 Experimento 2

O experimento 2 avaliou o tipo de corte de folha de serralha minimamente processada armazenada ao longo de 10 dias, à 5°C, temperatura definida como ideal no exp. 1. As variáveis C*, vitamina C e atividade antioxidante avaliada pelo método ABTS+ foram influenciadas significativamente ($p < 0,05$) pela interação entre tipo de corte e tempo de armazenamento. CO₂, L* e clorofila foram influenciados apenas pelo tempo, enquanto perda de massa, fenólicos totais e atividade antioxidante pelos métodos fosfomolibdênio e β-caroteno/ácido linoleico foram afetados pelos fatores tempo e tipo de corte, porém de forma isolada. Ressalta-se que as variáveis h°, pH e acidez titulável não foram influenciadas pelos fatores avaliados.

Os níveis de CO₂ dentro das embalagens contendo folhas de serralha se acumularam ao longo do armazenamento, embora não tenham variado significativamente em função do tipo de corte ($p < 0,05$; Figura 8A). As concentrações máxima e mínima observadas de CO₂ foram 1,37% e 0,81%, aos 2,1 e 4,1 dias de armazenamento, respectivamente. Logo, a atmosfera de equilíbrio flutuou entre esses dois extremos, dos 2 aos 10 dias de armazenamento. Diversos filmes poliméricos são utilizados na confecção de embalagens visando-se uma atmosfera de equilíbrio que garanta níveis de O₂ e CO₂, baixos e altos o bastante, respectivamente, que permitam a diminuição do metabolismo sem provocar injúrias fisiológicas no vegetal. Em geral níveis de CO₂ acima de 10% impactam negativamente na qualidade dos vegetais (Gomes *et al.*, 2023; Kader, 2002). Gil & Garrido (2020) relatam que para folhas *Spinacia oleracea* L., os níveis de CO₂ devem ser controlados para menos de < 5%, porque as folhas de espinafre são

altamente sensíveis aos danos causados pelo CO₂. Um estudo feito com folhas de rúcula (*Eruca sativa Mill*) armazenadas em atmosfera modificada, mostrou que uma atmosfera enriquecida com CO₂ (10% de CO₂) pode afetar negativamente as folhas, induzindo uma deterioração mais rápida das amostras (Marinoni *et al.*, 2022). O equilíbrio de CO₂ observado nas embalagens de polietileno de 100 µm contendo serralha minimamente processada se encontra numa faixa inferior à considerada limítrofe para injúrias fisiológicas, mas em níveis altos o suficiente para influenciar o metabolismo, com potencial de prolongar sua vida útil.

Figura 8. A - Valores médios de % CO₂ na embalagem para folhas de *Sonchus oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. B - Valores médios de % de perda de massa para folhas de *Sonchus oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.



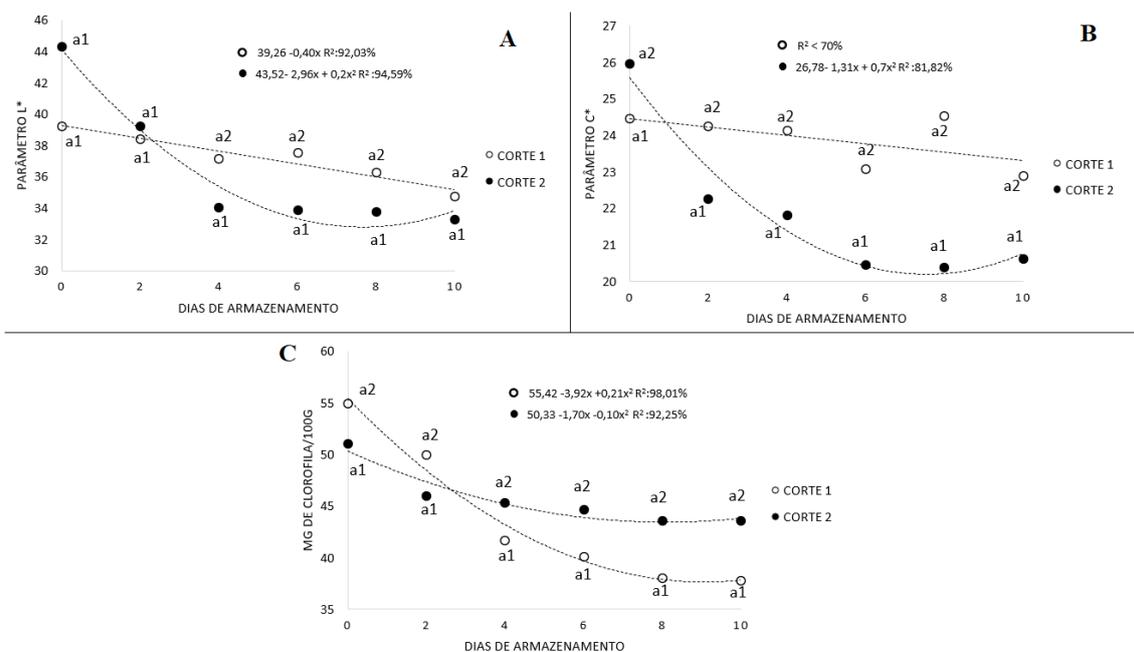
Fonte: Da autora (2024).

A perda de massa da serralha minimamente processada armazenada à 5°C aumentou linearmente durante os 10 dias de armazenamento, até atingir 0,27%, valor consideravelmente baixo. Em média, as folhas cortadas em frações de 4 cm apresentaram perda de massa de 0,17%, superiores àsquelas de 1 cm (0,12%) ($p < 0,05$ Figura 8B). Entretanto, as variações foram muito pequenas, sugerindo a eficácia da refrigeração e atmosfera modificada na conservação da folhosa, a despeito do tamanho do corte. Poucos estudos foram publicados sobre o impacto do tamanho do corte na perda de massa de hortaliças folhosas. Sugere-se que o tamanho do corte possa influenciar na perda de massa devido a alteração na superfície exposta. Quanto mais fracionada a folha for, maior a área de exposição ao ar e à luz, o que pode acelerar a oxidação e a decomposição, levando à perda de umidade e, conseqüentemente, à perda de massa (Concurso *et al.*, 2020). Entretanto, isso não foi observado no presente trabalho, graças à ação preventiva da refrigeração e atmosfera modificada.

O pH e a acidez titulável das folhas de serralha não variaram significativamente ($p>0,05$) em função do tamanho do corte, tempo de armazenamento, tampouco da interação entre ambos os fatores. Em média, as serralhas minimamente processadas apresentaram pH de 6,06 e acidez titulável de 0,12 mg de ácido cítrico/100g de folhas.

A média geral do h° foi 124,6, variável de cor não foi influenciada por nenhum dos fatores estudados ($p>0,05$). Por outro lado, notou-se redução linear do valor L^* , de 40,34 para 33,28, durante o armazenamento, sem efeitos significativos do tamanho do corte ($p<0,05$; Figura 9A). O C^* também reduziu ao longo do armazenamento, não sendo possível observar um efeito sistemático do tamanho do corte sobre o comportamento dessa variável ($p<0,05$; Figura 9B). As clorofilas são os principais pigmentos que interferem na coloração das folhas de serralha. O tamanho do corte não impactou nas concentrações de clorofilas totais na serralha minimamente processada, que diminuíram significativamente, de 50,73 a 38,69 mg 100g⁻¹ ($p<0,05$; Figura 9C). Entretanto, essa redução não foi suficiente para promover alterações significativas no h° .

Figura 9. AB - Valores médios dos parâmetros de coloração de folhas de *Sonchus oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. C - Valores médios de clorofila (mg/100g) de folhas de *Sonchus oleraceus* com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.

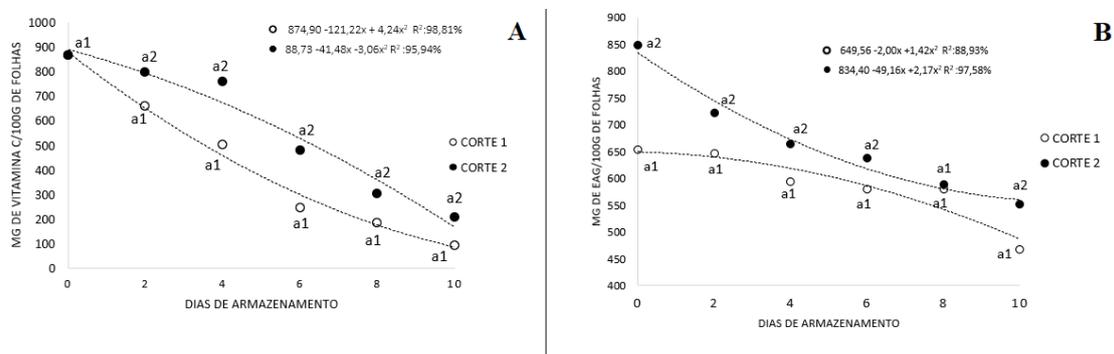


Fonte: Da autora (2024).

Os teores de vitamina C reduziram, nas folhas de serralha com 1 e 4 cm. Entretanto, as folhas cortadas com 4 cm apresentaram menores perdas de vitamina C da ordem de 76%, inferiores às observadas nas folhas de 1cm, que apresentaram perdas de 89%, durante todo o armazenamento. As folhas de serralha fresca podem ser consideradas excelentes fontes de vitamina C, reunindo cerca de 865 mg dessa vitamina por cada 100 g de matéria fresca. Embora a perda durante 10 dias seja substancial, ainda sim, ao final do armazenamento, as folhas de serralha podem ser consideradas como importantes fontes desse nutriente, comparadas com outras fontes conhecidas de vitamina C, como laranja (60mg/100g), goiaba (228,3mg/100g), morango (28,8mg/100g), espinafre (28,1mg/100g) e brócolis (89,2mg/100g) (USDA, 2024).

Assim como observado para vitamina C, os teores de fenólicos totais reduziram de forma linear, de 736,98 para 518,66 mg 100 g⁻¹, independentemente do tipo de corte ($p < 0,05$; Figura 10A). Em média, as folhas com 4 cm apresentaram maiores concentrações de fenólicos totais que as cortadas com 1 cm. Os teores de fenólicos totais encontrados na serralha são superiores aos encontrados em outras folhosas ricas em compostos bioativos, como a rúcula selvagem (*Diplotaxis tenuifolia L., cv. Grazia*) com 109,3 mg de EAG/100g de folhas frescas (Martínez-Sánchez *et al.*, 2006); a alface vermelha (*Lactuca sativa L. var.*) com 456 mg de EAG/100g de folhas secas (Kim *et al.*, 2018), e agrião (*Nasturtium officinale*) com 331,43 mg de EAG/100g de folhas secas (Zaman *et al.*, 2024).

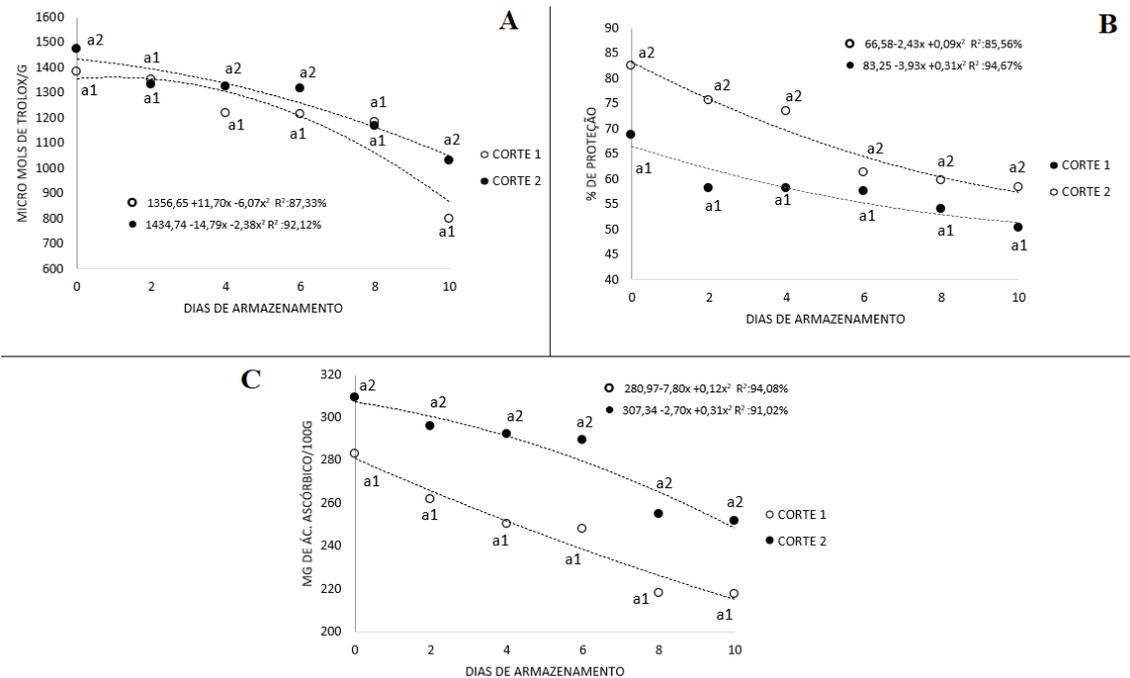
Figura 10. A - Valores médios de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. B - Valores médios de fenólicos totais (mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100g) de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.



Fonte: Da autora (2024).

Tanto a vitamina C quanto os fenólicos são compostos bioativos com potente ação antioxidante que interferem na atividade antioxidante geral dos alimentos. O comportamento da atividade antioxidante medida por três métodos diferentes foi semelhante aos dos compostos bioativos, com queda linear ($p < 0,05$ Figura 11). Em média, a atividade antioxidante medida pelos métodos β -caroteno/ácido linoleico reduziu 27% e 21%, respectivamente, durante os 10 dias de armazenamento, sendo maior, em média, nas folhas com 1 cm. A atividade antioxidante medida pelo método ABTS⁺ reduziu 34% e 26% na serralha minimamente processada de 1 e 4 cm, respectivamente. Logo, de forma geral, quanto maior a intensidade do corte, maior a queda dos compostos bioativos e maior a redução da atividade antioxidante. De fato, o corte pode ser entendido como um dano mecânico. Assim, quanto maior a intensidade do corte, maior a injúria mecânica provocada nas folhas, o que leva à descompartimentação celular. Com isso, intensificam-se os processos oxidativos que levam à formação de radicais livres e ao comprometimento da qualidade do vegetal. A vitamina C e os compostos fenólicos são antioxidantes naturais que varrem esses radicais livres reduzindo, ou até mesmo prevenindo seus efeitos deletérios. Ascorbato oxidase e peroxidase são enzimas fundamentais para que a vitamina C cumpra seu papel antioxidante (Silva *et al.*, 2023). Visto que existe uma gama de compostos fenólicos, diversas enzimas podem ser acionadas nos processos de oxi-redução que envolvem esses compostos. Ademais, quanto maior o tamanho do corte, maior a exposição do tecido vegetal à luz e oxigênio, fatores que podem acelerar a degradação de compostos bioativos (Sommano; Chanasut; Kumpoun, 2020).

Figura 11. A - Valores médios de atividade antioxidante pelo método ABTS+* de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. B - Valores médios de atividade antioxidante pelo método β -caroteno/ácido linoleico de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. C - Valores médios de atividade antioxidante pelo método complexo fosfomolibdênio de folhas de *Sonchus oleraceus* armazenadas com diferentes tipos de corte armazenadas por 10 dias. Letras diferentes, indicam diferença estatística do teste de médias.



Fonte: Da autora (2024).

4. CONCLUSÕES

A temperatura de 5°C foi a mais efetiva na conservação de folhas de *Sonchus oleraceus*, propiciando menor perda de compostos bioativos e atividade antioxidante e vida útil de 10 dias. Em relação ao tamanho do corte, a maior largura das folhas (4cm), devido à menor superfície de contato e menor dano celular, foi mais eficaz na manutenção da qualidade das folhas de serralha. Esses resultados destacam a importância do controle preciso da temperatura e do tamanho do corte para possibilitar a produção e distribuição de folhas de serralha minimamente processadas. Assim, investir em técnicas que garantam a qualidade e a eficiência na cadeia produtiva das PANC não só beneficia os consumidores e produtores, mas também contribui para um futuro alimentar mais seguro e sustentável globalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, T. L.; ESTÉVEZ, M.; DE CARVALHO, L. M.; DE MEDEIROS, L. L. *et al.* Unveiling the bioactivity and bioaccessibility of phenolic compounds from organic coffee husks using an in vitro digestion model. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 104, n. 3, p. 1833-1842, 2024/02/01 2024.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 22nd ed. 2023. 9780197610138.
- BLAMO JR, P. A.; PHAM, H. N. T.; NGUYEN, T. H. Maximising phenolic compounds and antioxidant capacity from *Laurencia intermedia* using ultrasound-assisted extraction. **AIMS Agriculture and Food**, 6, n. 1, p. 32-48, 2021.
- CLIFFORD, Michael N.; JAGANATH, I. B.; LUDWIG, I. A.; CROZIER, A. Chlorogenic acids and the acyl-quinic acids: discovery, biosynthesis, bioavailability and bioactivity. **Natural Product Reports**, 34, n. 12, p. 1391-1421, 2017. 10.1039/C7NP00030H.
- CONDURSO, C.; CINCOTTA, F.; TRIPODI, G.; MERLINO, M. *et al.* A new approach for the shelf-life definition of minimally processed carrots. **Postharvest Biology and Technology**, 163, p. 111138, 2020/05/01/ 2020.
- DE CORATO, U. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 60, n. 6, p. 940-975, 2020.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **Brazilian Journal of Biometrics**, 37, n. 4, p. 529-535, 12/20 2019.
- GAO, J.; HU, J.; HU, D.; YANG, X. A Role of Gallic Acid in Oxidative Damage Diseases: A Comprehensive Review. **Natural Product Communications**, 14, n. 8, p. 1934578X19874174, 2019/08/01 2019.
- GIL, M. I.; GARRIDO, Y. Chapter 21.4 - Leafy vegetables: Fresh and fresh-cut mature spinach. *In*: GIL, M. I. e BEAUDRY, R. (Ed.). **Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce**: Academic Press, 2020. p. 551-555.
- GOMES, B. A. F.; ALEXANDRE, A. C. S.; DE ANDRADE, G. A. V.; ZANZINI, A. P. *et al.* Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook. **Food Chemistry Advances**, 2, p. 100304, 2023/10/01/ 2023.
- GORNY, J. R. **Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry**. International Fresh-cut Produce Association, 2001.
- HASSAN, F. A. S.; ALI, E. F.; MOSTAFA, N. Y.; MAZROU, R. Shelf-life extension of sweet basil leaves by edible coating with thyme volatile oil encapsulated chitosan

nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, 177, p. 517-525, 2021/04/30/ 2021.

HUNTER, D.; BORELLI, T.; BELTRAME, D. M. O.; OLIVEIRA, C. N. S. *et al.* The potential of neglected and underutilized species for improving diets and nutrition. **Planta**, 250, n. 3, p. 709-729, 2019/09/01 2019.

KADER, A. A. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 2002. 13:978-60107-743-1.

KAHKESHANI, N.; FARZAEI, F.; FOTOUHI, M.; ALAVI, S. S. *et al.* Pharmacological effects of gallic acid in health and diseases: A mechanistic review. **Iran J Basic Med Sci**, 22, n. 3, p. 225-237, Mar 2019.

KIM, D.-E.; SHANG, X.; ASSEFA, A. D.; KEUM, Y.-S. *et al.* Metabolite profiling of green, green/red, and red lettuce cultivars: Variation in health beneficial compounds and antioxidant potential. **Food Research International**, 105, p. 361-370, 2018/03/01/ 2018.

MARINONI, L.; BUCCHERI, M.; BIANCHI, G.; CATTANEO, T. M. P. Aquaphotomic, E-Nose and Electrolyte Leakage to Monitor Quality Changes during the Storage of Ready-to-Eat Rocket. **Molecules**, v.27, n. 7, DOI: 10.3390/molecules27072252.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; MARÍN, A.; LLORACH, R.; FERRERES, F. *et al.* Controlled atmosphere preserves quality and phytonutrients in wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*). **Postharvest Biology and Technology**, 40, n. 1, p. 26-33, 2006/04/01/ 2006.

MEDINA, M. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, 3, p. 79-87, 04/01 2011.

MILIÃO, G. L.; DE OLIVEIRA, A. P. H.; SOARES, L. d. S.; ARRUDA, T. R. *et al.* Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. **Future Foods**, 5, p. 100124, 2022/06/01/ 2022.

ONG, K. W.; HSU, A.; TAN, B. K. Chlorogenic acid stimulates glucose transport in skeletal muscle via AMPK activation: a contributor to the beneficial effects of coffee on diabetes. **PLoS One**, 7, n. 3, p. e32718, 2012.

PEERZADA, A. M.; O'DONNELL, C.; ADKINS, S. Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, 41, n. 8, p. 136, 2019/07/16 2019.

PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. **Analytical Biochemistry**, 269, n. 2, p. 337-341, 1999/05/01/ 1999.

RODEO, A. J. D.; MITCHAM, E. J. Basil postharvest chilling sensitivity is modulated by the dynamics between antioxidant enzymes and metabolites. **Postharvest Biology and Technology**, 211, p. 112805, 2024/05/01/ 2024.

RUFINO, M. d. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121, n. 4, p. 996-1002, 2010/08/15/ 2010.

SAINI, R. K.; KO, E. Y.; KEUM, Y.-S. Minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables: Production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential. **Food Reviews International**, 33, n. 6, p. 644-663, 2017/11/02 2017.

SERGIO, L.; BOARI, F.; PIERALICE, M.; LINSALATA, V. *et al.* Bioactive Phenolics and Antioxidant Capacity of Some Wild Edible Greens as Affected by Different Cooking Treatments. 9, n. 9, p. 1320, 2020.

ŠILAROVÁ, P.; BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L.; PELLATI, F.; ČESLOVÁ, L. Monitoring of Chlorogenic Acid and Antioxidant Capacity of *Solanum melongena* L. (Eggplant) under Different Heat and Storage Treatments. **Antioxidants**, v.8, n. 7, DOI: 10.3390/antiox8070234.

SILVA, K. G.; CAVALCANTI, M. T.; MARTINSA, L. P.; ALVES, R. D. *et al.* Coatings Based on Gelatin and Chitosan in the Conservation of Papaya (*Carica papaya* L.) Minimally Processed. **Horticulturae**, v.9, n. 7, DOI: 10.3390/horticulturae9070729.

SILVEIRA ALEXANDRE, A. C.; FERREIRA GOMES, B. A.; DUARTE, G. N.; PIVA, S. F. *et al.* Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 1: Fundamentals and chemical methods. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46, n. 8, p. e16757, 2022/08/01 2022.

SOLTANI, A.; SHAMS ABADI, S. M.; RAEISI, M.; KOUHIHABIBIDEHKORDI, G. *et al.* Apoptosis-inducing Plant-based Phenolic Compounds are Effective on Leukemia Cell Lines. **Current Pharmaceutical Design**, 29, n. 14, p. 1092-1104, 2023.

SOMMANO, S. R.; CHANASUT, U.; KUMPOUN, W. 3 - Enzymatic browning and its amelioration in fresh-cut tropical fruits. *In*: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**: Academic Press, 2020. p. 51-76.

STROHECKER, R.; MAYOR ZARAGOZA, F.; MAX HENNING, H. **Analisis de vitaminas : métodos comprobados**. 1967. 428 p.

USDA. National Nutrient Database FoodData Central. U. S. D. O. AGRICULTURE. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-search>. Acessado dia 01 de maio de 2024.

YI, B.; LIU, Y.; WU, Z.; ZHENG, Y. *et al.* Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of zucchini fruit by regulating antioxidant capacity, endogenous hydrogen sulfide, proline, and polyamine metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, 208, p. 112638, 2024/02/01/ 2024.

YOUSUF, B.; DESHI, V.; OZTURK, B.; SIDDIQUI, M. W. 1 - Fresh-cut fruits and vegetables: Quality issues and safety concerns. *In*: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**: Academic Press, 2020. p. 1-15.

ZAMAN, S.; AHMAD, R.; ABDULAZIZ BINOBEAD, M.; RAGAB ABDEL GAWWAD, M. *et al.* Polyphenolic contents and antioxidant potential in *Nasturtium officinale*. **Journal of King Saud University - Science**, 36, n. 6, p. 103223, 2024/07/01/ 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa destaca a serralha como uma fonte altamente promissora de compostos bioativos, como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos, com destaque para os ácidos gálico e clorogênico, essenciais para uma alimentação saudável. A combinação adequada de solventes é fundamental para se maximizar a extração de compostos fenólicos, sendo a combinação metanol:etanol na proporção 70:30 (v:v) a mais adequada, no caso de folhas de serralha. A digestão gastrointestinal *in vitro* reduziu substancialmente os níveis de fenólicos totais e ácidos gálico e clorogênico de folhas de serralha, embora sua atividade antioxidante tenha sido mais bem preservada, o que sustenta seu potencial para aplicações tanto na indústria farmacêutica quanto de alimentos. Os resultados também destacam a importância crítica do controle preciso da temperatura no armazenamento de folhas de serralha e do tamanho do corte das folhas para se garantir melhor qualidade e maior vida útil do produto minimamente processado. Essas descobertas não apenas fornecem insights para otimizar a cadeia produtiva das PANC, mas também reforçam seu papel na promoção de sistemas alimentares sustentáveis e na melhoria da segurança alimentar global.