



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

MIRIAN CRISTINA MARETTI

**INFLUÊNCIA DO MANEJO ORGÂNICO DE PRODUÇÃO NAS
CARACTERÍSTICAS NUTRACÊUTICAS DE TOMATE E
ALFACE**

Londrina
2026

MIRIAN CRISTINA MARETTI

**INFLUÊNCIA DO MANEJO ORGÂNICO DE PRODUÇÃO NAS
CARACTERÍSTICAS NUTRACÊUTICAS DE TOMATE E
ALFACE**

Tese apresentada à Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito parcial para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Ursi Ventura

Londrina
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M326 Maretti, Mirian Cristina .
Influência do manejo orgânico de produção nas características nutraceuticas de tomate e alface. / Mirian Cristina Maretti. - Londrina, 2026.
170 f. : il.

Orientador: Mauricio Ursi Ventura.
Coorientador: Monica Regina da Silva Scapim.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Solanum lycopersicum - Tese. 2. compostos bioativos - Tese. 3. biofortificação - Tese. 4. nutrição - Tese. I. Ventura, Mauricio Ursi. II. Scapim, Monica Regina da Silva. III. Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

MIRIAN CRISTINA MARETTI

INFLUÊNCIA DO MANEJO ORGÂNICO DE PRODUÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS NUTRACÊUTICAS DE TOMATE E ALFACE

Tese apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador
Dr. Mauricio Ursi Ventura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Co orientadora
Dra. Monica Regina da Silva Scapim
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Fernando Teruhiko Hata
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Profa. Dra. Luciana Maestro Borges
Instituto Federal do Paraná - IFPR

Dra. Aline Fabiana Paladini
Universidade Estadual de Londrina - UEL
Londrina, 25 de Fevereiro de 2026.

Primeiramente a Deus, que me fortaleceu e sustentou em todos os momentos, cobrindo-me de bençãos nas minhas idas e vindas nas estradas. Sem Sua força nada seria possível. À Nossa Senhora Aparecida que me cobre com seu Manto Sagrado, protegendo-me e abençoando-me a cada dia na caminhada da vida. Acredito que pela fé, tudo é possível. Assim concluo mais uma jornada da minha vida acadêmica e profissional. Hoje e sempre por todas as bençãos,

Agradeço.

À memória de minhas avós paterna Regina Helena Botassini Maretti (1906 – 1989) e materna Jovercina Ferreira de Jesus (1920 – 2011), que nesta vida foram mulheres analfabetas e não tiveram a escolha de estudar.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina por me acolher mais uma vez para realizar esse segundo doutorado. Todo meu respeito e admiração. Amo este lugar!

Ao Prof. Dr. Mauricio Ursi Ventura, meu orientador, que aceitou de pronto me orientar, acreditando no trabalho que poderíamos desenvolver juntos. Agradeço a oportunidade e os ensinamentos.

A minha mãe Irene, que sempre me incentivou a estudar e por ter cuidado com carinho dos meus cachorros no período que realizei os créditos na UEL. Minha gratidão!

Ao André, meu esposo. Meu porto seguro e parceiro nesta jornada. Agradeço seu companheirismo, apoio e amor constantes. E por ser um entusiasta pelo estudo como eu. Também pela valiosa colaboração nas análises estatísticas.

A Profa. Dra. Monica Regina da Silva Scapim, minha coorientadora, pela orientação, apoio e especial amizade.

Ao Prof. Dr. Fábio Luiz Melquíades do Departamento de Física da UEL pela colaboração nas análises de espectrometria de fluorescência de raios X.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, especialmente Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende por material e equipamento cedidos e Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves pelo laboratório e análises.

A Profa. Dra. Grasielle Scaramal Madrona pela participação no exame de qualificação com sugestões ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim pela colaboração nas análises estatísticas.

Aos técnicos de laboratório Davi (Entomologia), José e Márcio (Solos), agradeço pelas colaborações, cada qual da sua forma e no seu tempo.

Aos colegas de laboratório Viviane Lopes Leite da Costa, Alison Fernando Nogueira e Ana Clara Morini pela colaboração nas análises físico-químicas.

Aos produtores orgânicos com suas áreas de cultivo.

Ao Engenheiro Agrônomo Márcio Marchesin, representante da empresa Tech Crop pelo fornecimento de material experimental de Selênio.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos em parte do curso.

Aos membros da banca examinadora pelas participações e contribuições.

Agradeço a todos que de alguma forma, colaboraram para que mais este doutorado se tornasse uma experiência enriquecedora.

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”

(Guimarães Rosa)

RESUMO

MARETTI, Mirian Cristina. **Influência do Manejo Orgânico de Produção nas Características Nutracêuticas de Tomate e Alface**. 2026. 170 folhas. Tese de Doutorado (Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

Frutas e hortaliças são alimentos importantes na dieta humana, recomendando-se sua ingestão diária por serem fontes de fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes. O tomate e seus derivados apresentam alta atividade antioxidante devido à sua variedade de compostos bioativos, evidenciando que alimentos que contêm licopeno, previnem doenças crônicas relacionadas ao estresse oxidativo. Já o selênio é um mineral essencial com alto poder antioxidante, crucial para funções da tireoide e sistema imunológico. O objetivo desse trabalho foi estudar os efeitos do manejo cultural em características nutracêuticas de hortaliças, através dos aspectos físico-químicos, bioquímicos, compostos bioativos e atividade antioxidante, além da análise sensorial, de produtos processados de tomates cultivados em sistema orgânico vs. semi-hidropônico e também, utilizar adubação de selênio na forma nanoencapsulada a fim de quantificar através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), os teores deste mineral visando biofortificação de alface americana. Os frutos de tomate foram processados para produção de catchup, molho de tomate e tomate seco. Nestes produtos foram realizadas análises físico-químicas e bioquímicas (licopeno, compostos fenólicos totais, flavonoides, DPPH, Vitamina C, acidez titulável, açúcares redutores e pH), mediante a variação do tempo de prateleira (0, 2, 4 e 6 meses) dos produtos de diferentes sistemas de produção de tomate (orgânico e semi hidropônico). A alface americana foi cultivada em sistema orgânico de produção, utilizando seis tratamentos para biofortificação de Selênio, com seis plantas por tratamento e duas repetições, totalizando 72 plantas cultivadas. As análises físicas realizadas pós-colheita foram peso da cabeça com raiz, diâmetro da cabeça, diâmetro do colmo, peso de raiz fresca e comprimento de raiz fresca. Folhas e raízes biofortificadas com Se foram analisadas através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados mostraram que a concentração dos compostos bioativos e atividade antioxidante de produtos de tomate independe da forma de cultivo e dos produtos

processados. O teor de licopeno apresentou acréscimos a medida em que aumentaram os tempos de armazenamento dos produtos. Quanto à qualidade sensorial, os produtos tiveram aceitação em ordem de preferência: molho de tomate, catchup e tomate seco. O processamento térmico de tomate propiciou aumento da vida útil dos produtos e da concentração da atividade antioxidante, diretamente relacionada a estabilizar radicais livres. Para biomassa da alface americana não foram observadas diferenças significativas com a utilização de fertilizante nanoencapsulado de Selênio em diferentes dosagens e frequências de aplicações. Porém, em base seca, observou-se incremento de Se na concentração das folhas (87,5%) e das raízes (24,5%), concluindo-se que a biofortificação é um método viável na adição de nutrientes à dieta humana.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*; *Lactuca sativa*; compostos bioativos; biofortificação; nutrição.

ABSTRACT

MARETTI, Mirian Cristina. **Influence of Organic Production Management on the Nutraceutical Characteristics of Tomato and Lettuce.** 2026. 170 folhas. Tese de Doutorado (Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

Fruits and vegetables are important foods in the human diet, and their daily intake is recommended as they are sources of fiber, vitamins, minerals, and antioxidants. Tomatoes and their derivatives exhibit high antioxidant activity due to their variety of bioactive compounds, demonstrating that foods containing lycopene prevent chronic diseases related to oxidative stress. Selenium is an essential mineral with high antioxidant power, crucial for thyroid function and the immune system. The objective of this work was to study the effects of cultural management on nutraceutical characteristics of vegetables, through physicochemical and biochemical aspects, bioactive compounds, and antioxidant activity, as well as sensory analysis, of processed tomato products grown in organic vs. semi-hydroponic systems. Furthermore, the study aimed to use selenium fertilization in nanoencapsulated form to quantify, through energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF), the levels of this mineral for the biofortification of iceberg lettuce. Tomato fruits were processed for the production of ketchup, tomato sauce, and sun-dried tomatoes. Physicochemical and biochemical analyses (lycopene, total phenolic compounds, flavonoids, DPPH, Vitamin C, titratable acidity, reducing sugars, and pH) were performed on these products, varying the shelf life (0, 2, 4, and 6 months) of products from different tomato production systems (organic and semi-hydroponic). American lettuce was cultivated in an organic production system, using six treatments for selenium biofortification, with six plants per treatment and two replicates, totaling 72 cultivated plants. Post-harvest physical analyses included head weight with root, head diameter, stem diameter, fresh root weight, and fresh root length. Leaves and roots biofortified with Se were analyzed using energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF). The data were subjected to analysis of variance and Scott-Knott test at a 5% probability level. The results showed that the concentration of bioactive compounds and antioxidant activity of tomato products is independent of the cultivation method and the processed products. Lycopene content increased as the

storage time of the products increased. Regarding sensory quality, the products were accepted in order of preference: tomato sauce, ketchup, and sun-dried tomatoes. Thermal processing of tomatoes increased the shelf life of the products and the concentration of antioxidant activity, directly related to stabilizing free radicals. For iceberg lettuce biomass, no significant differences were observed with the use of nanoencapsulated selenium fertilizer at different dosages and application frequencies. However, on a dry basis, an increase in Se concentration was observed in the leaves (87.5%) and roots (24.5%), concluding that biofortification is a viable method for adding nutrients to the human diet.

Key words: *Solanum lycopersicum*; *Lactuca sativa*; bioactive compounds; biofortification; nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Processos do ciclo do selênio em plantas.....	38
Figura 2 –	Estrutura básica dos flavonoides.....	45
Figura 3 –	Reação DPPH com antioxidantes naturais.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação dos teores de pH ao longo dos meses de armazenamento de produtos produzidos com tomates semi-hidropônico e tomates orgânicos.....	83
Gráfico 2 – Variação do pH em diferentes produtos à base de tomate em função dos tempos de armazenamento.....	85
Gráfico 3 – Variação do pH em diferentes produtos à base de tomate em função dos tempos de armazenamento.....	96
Gráfico 4 - Variação dos teores de licopeno (mg/kg) ao longo dos meses de armazenamento para catchup, molho de tomate e tomate seco nos cultivos orgânico e semi-hidropônico.....	97
Gráfico 5 - Variação dos teores de acidez titulável (g ácido cítrico/100 g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.....	100
Gráfico 6 - Variação dos teores de vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate e tomate seco orgânico e semi-hidropônico.....	102
Gráfico 7 - Variação dos teores de DPPH (% DPPH radical scavenging) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate e tomate seco orgânico e semi-hidropônico.....	105
Gráfico 8 – Variação dos flavonoides (mg QE/100g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.....	109
Gráfico 9 – Variação dos teores de compostos fenólicos totais (mg EAG/100g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.....	111
Gráfico 10 - Análise descritiva (Boxplot) de produtos de tomates (catchup, molho e tomate seco) cultivados em sistema de manejo orgânico e semi hidropônico. ^{ns} Não significativo e ^{****} significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste de Mann-Whitney U.....	112

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, BIOQUÍMICA, COMPOSTOS BIOATIVOS E ANÁLISE SENSORIAL EM PRODUTOS PROCESSADOS DE TOMATES CULTIVADOS EM SISTEMA ORGÂNICO E SEMI-HIDROPÔNICO

Tabela 1 – Composição e condutividade elétrica da solução hidropônica.....	74
Tabela 2 – Peso fresco (g) de alface americana com raiz tratada em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	75
Tabela 3 – Formulação do molho de tomate.....	76
Tabela 4 – Formulação do tomate seco.....	76
Tabela 5 – Resumo da análise de variância (p-valor) de diferentes variáveis resposta avaliadas de produtos armazenados em diferentes tempos e originados de frutos de tomate obtidos de diferentes cultivos.....	80
Tabela 6 - Análise do desdobramento do tempo em cada cultivo em diferentes variáveis na interação tempo x cultivo segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	81
Tabela 7 – Análise do desdobramento dos produtos em cada tempo em diferentes variáveis na interação tempo x produto segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	82
Tabela 8 – Análise do desdobramento dos cultivos em cada combinação (tempo x produto) em diferentes variáveis segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	86
Tabela 9 - Análise do desdobramento dos produtos em cada combinação (tempo x cultivo) em diferentes variáveis segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	92
Tabela 10 - Equações de regressão para teores de licopeno em diferentes produtos de tomate em função de tempos de armazenamento.....	97
Tabela 11 – Equações de regressão para vitamina C em diferentes produtos de tomate em função de tempos de armazenamento.....	102
Tabela 12 – Equações de regressão para DPPH em diferentes produtos de tomate em função de tempos de armazenamento.....	105
Tabela 13 – Principais comentários positivos e negativos feitos por provadores na	

análise sensorial de Catchup, Molho de tomate e Tomate seco.....	116
---	-----

ARTIGO 2 - BIOFORTIFICAÇÃO DE ALFACE AMERICANA COM SELÊNIO

Tabela 1 – Resultado da análise química de solo do local do experimento. Sarandi, PR, 2026.....	140
Tabela 2 – Peso fresco (g) de alface americana com raiz tratada em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	146
Tabela 3 – Diâmetro (cm) da cabeça de alface americana tratadas com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	147
Tabela 4 – Diâmetro (cm) do colmo de alface americana tratadas com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	148
Tabela 5 – Peso (g) da raiz fresca de alface americana tratada com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	149
Tabela 6 – Comprimento (cm) da raiz fresca de alface americana tratada com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	150
Tabela 7 – Concentração de Se (mg kg^{-1} unidades de base seca) em folhas desidratadas de alface americana em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	151
Tabela 8 – Concentração de Se (mg kg^{-1} unidades de base seca) em raízes desidratadas de alface americana em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.....	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAT	Atividade antioxidante total
Al	Alumínio
AR	Açúcar redutor
AT	Acidez titulável
ATP	Adenosina trifosfato
CFT	Compostos Fenólicos Totais
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
cv.	Cultivar
DA-CH	Valores de referência para a ingestão de nutrientes na Alemanha (D), Áustria (A) e Suíça (CH)
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DPPH	Atividade antioxidante
DTA	Dias Após o Transplante
EDXRF	Espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERO	Espécies Reativas de Oxigênio
FDA	Food and Drug Administration
Fe	Ferro
g	Gramas
GLO	L-gulonolactona oxidase
GMPc	Monofosfato de guanosina cíclico
IMD	Ingestão média diária
I	Iodo
LDL	Lipoproteínas de Baixa Densidade

LOD	Limite de detecção
LOQ	Limite de quantificação
mcg	Micrograma
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
nm	Nanomêtro
NMDA	<i>N</i> -metil-D-aspartato
NPs	Nanopartículas
pH	potencial hidrogeniônico
SDD	Silicon Drift Detector
SeNPs	nanopartículas de Se
SePP	selenoproteína P
SST	Sólidos solúveis totais
UEL	Universidade Estadual de Londrina
Ti	Titânio
UV	Ultravioleta
VIC	Vitamina C
XRF	Espectrometria de fluorescência de raios X
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1	TOMATE E SEUS PRODUTOS DERIVADOS	24
2.2	CULTURA DA ALFACE.....	27
2.3	AÇÃO NUTRACÊUTICA DO LICOPENO E OUTROS NUTRIENTES	28
2.4	BIOFORTIFICAÇÃO EM HORTALIÇAS	33
2.4.1	Utilização do Selênio na Biofortificação	35
2.5	ALIMENTOS ORGÂNICOS E SUA PRODUÇÃO	38
2.6	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	41
2.6.1	Compostos Fenólicos Totais	44
2.6.2	Flavonoides	45
2.6.3	DPPH	46
2.6.4	Vitamina C.....	48
2.6.5	Selênio (Se)	50
2.7	TÉCNICA DE ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	54
2.8	REFERÊNCIAS.....	57
3	ARTIGO 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, BIOQUÍMICA, COMPOSTOS BIOATIVOS E ANÁLISE SENSORIAL EM PRODUTOS PROCESSADOS DE TOMATES CULTIVADOS EM SISTEMA ORGÂNICO E SEMI-HIDROPÔNICO.....	68
	Resumo	68
	Abstract	69
1	INTRODUÇÃO	70
2	MATERIAL E MÉTODOS	73
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4	CONCLUSÃO.....	117
5	REFERÊNCIAS.....	118
4	ARTIGO 2 - BIOFORTIFICAÇÃO DE ALFACE AMERICANA COM	

SELÊNIO	134
Resumo	134
Abstract	135
1 INTRODUÇÃO.....	136
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	137
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	146
4 CONCLUSÃO.....	157
5 REFERÊNCIAS.....	157
 5 CONCLUSÃO GERAL	 168
 APÊNDICES	 169
APÊNDICE A – Ficha de avaliação sensorial.....	170

1 INTRODUÇÃO

A alimentação de qualidade e a nutrição adequada são vitais para a manutenção da saúde (Guerra *et al.*, 2019). O termo “qualidade de alimentos” engloba um conceito que agrupa aspectos importantes para a saúde humana, como tipo de produção do alimento, fatores nutricionais, organolépticos, sanitários e ambientais (Rumiato; Monteiro, 2017).

Após a Revolução Industrial, o cultivo tradicional foi deixado de lado, dando início ao modelo de agricultura convencional ou, para alguns, uma agricultura industrial que, entre outros fatores, incentiva o melhoramento de sementes através da transgenia, o uso dos agrotóxicos em larga escala e a monocultura. O papel principal deixou de ser a produção saudável de alimentos e passou a ter como foco a maximização do lucro. Em contrapartida, a agricultura orgânica, motivada pela preocupação com a saúde da população e questões ambientais, surge com um sistema de produção que visa evitar ou excluir o uso de agrotóxicos, fertilizantes sintéticos, reguladores de crescimento e aditivos para a alimentação compostos sinteticamente (Novaes *et al.*, 2015).

Um dos fatores que favoreceu a crescente demanda por alimentos saudáveis foi a maior conscientização acerca dos benefícios de frutas e hortaliças, tanto para a saúde quanto para a preservação do ecossistema. Assim, a demanda por produtos com boa qualidade, obtidos por meio de práticas agrícolas sustentáveis, como os métodos orgânicos de produção, aumentaram significativamente e se fortaleceram mundialmente (Mooz; Silva, 2014).

O termo nutracêutico é uma combinação das palavras nutrição e farmacêutico, por ser um produto derivado de alimentos funcionais e ter funções específicas no organismo. Os nutracêuticos encontram-se numa faixa que permeia parte dos alimentos e parte dos fármacos. É um tipo de suplemento alimentar que contém em sua composição compostos bioativos que são extraídos dos alimentos funcionais e, oferecem benefícios adicionais a saúde, além do valor nutricional, como, por exemplo, o conjunto de bioativos, vitaminas e minerais. Esses bioativos agem benéficamente no organismo, podendo ainda ser utilizado como forma complementar ao tratamento de doenças (Bagchi *et al.*, 2021; Chong *et al.*, 2019).

A ação nutracêutica é o efeito benéfico de compostos bioativos extraídos de alimentos (como licopeno, fitoesteróis) em cápsulas ou formas concentradas, atuando

no organismo como antioxidantes para combater radicais livres, melhorar o metabolismo, fortalecer o sistema imunológico, favorecer a saúde intestinal, da pele, cabelos e unhas, e potencializar tratamentos estéticos e médicos (Alencar; Moraes, 2021). Assim, os antioxidantes neutralizam os radicais livres (subprodutos do metabolismo) que causam danos celulares e envelhecimento, protegendo órgãos e tecidos (Vannucchi; Marchini, 2014).

Frutas e hortaliças são alimentos importantes na dieta humana, recomendando-se sua ingestão diária por serem fontes de fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes. Estudos epidemiológicos, toxicológicos e nutricionais sugeriram uma associação entre consumo de frutas e hortaliças e menor incidência de doenças crônicas, como problemas cardíacos, câncer, diabetes e doença de Alzheimer (Del Rio-Celestino; Font, 2020). As hortaliças fornecem altos teores de vitaminas (A, C, E, as do complexo B), além de minerais (ferro, cálcio, potássio e magnésio) e ainda fibras que auxiliam no processo digestivo e saúde intestinal (Freitas; Higuti; Magro, 2021).

A atividade antioxidante encontrada em hortaliças é de extrema importância para a manutenção do organismo conferindo proteção e benefícios à saúde. Seu consumo deve ser estimulado, pois diversos compostos presentes na célula vegetal desempenham proteção e prevenção de muitas doenças, além de contribuírem para uma alimentação mais saudável e proporcionarem qualidade de vida (Silva *et al.*, 2015).

O tomate e seus derivados apresentam alta atividade antioxidante devido à variedade de compostos bioativos que possui, evidenciando que alimentos que contêm licopeno, previnem doenças crônicas relacionadas ao estresse oxidativo (Anlar; Bacanlı, 2020). O licopeno é visto como um poderoso antioxidante que diminui o colesterol e o risco de certos tipos de câncer, como de próstata e do útero (Shahidi; Ambigaipalan, 2015). O consumo de alimentos como tomate e seus subprodutos, com alto teor de licopeno, estão relacionados à redução do risco de doenças crônicas, como câncer, doenças cardiovasculares e condições inflamatórias (Cheng *et al.*, 2019; Caseiro *et al.*, 2020).

Por sua vez, o selênio é um mineral essencial com alto poder antioxidante, crucial para funções da tireoide e sistema imunológico. Sua deficiência está diretamente relacionada à predisposição no desenvolvimento de doenças cardiovasculares, câncer, infecções virais, diabetes mellitus, doença de Alzheimer, sendo também, a principal causa da Doença de Keshan - insuficiência cardíaca

caracterizada pelo aumento do coração (cardiomegalia) e Doença de Kashin-Beck - osteoartropatia degenerativa crônica que afeta a cartilagem articular, levando a uma grave degeneração (Kieliszek, 2019; Facchinetti *et al.*, 2022).

Desta forma, objetivou-se estudar os efeitos do manejo cultural em características nutraceuticas de hortaliças. Assim, inicialmente, caracterizou-se aspectos físico-químicos, bioquímicos, compostos bioativos e atividade antioxidante, além da análise sensorial, de produtos processados de tomate cultivado em sistema orgânico vs. semi-hidropônico. Em outro estudo, utilizou-se adubação de selênio na forma nanoencapsulada e quantificou-se, através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), os teores deste mineral visando eventual biofortificação de alface americana através do uso de fertilizante nanoencapsulado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TOMATE E SEUS PRODUTOS DERIVADOS

A produção e consumo de hortaliças, como o tomate, vem crescendo nos últimos anos em virtude de suas propriedades antioxidantes que auxiliam no combate dos radicais livres presentes nas células, destacando-se como uma importante fonte de nutrientes e compostos bioativos, em especial os carotenoides, pigmentos lipossolúveis amplamente distribuídos em vegetais, desempenhando funções essenciais na proteção contra estresse oxidativo e na comunicação celular (Rawat *et al.*, 2024). Algumas das principais fontes de carotenóides são cenouras e abóboras (α e β -caroteno), tomates e produtos derivados, como extrato, polpa e molhos (licopeno) e espinafre (luteína) (Bianchi; Antunes, 1999; Silva; Naves (2001).

Parmar *et al.* (2021) destacam que o tomate e seus derivados são pobres em gordura e calorias, isentos de colesterol e ricos em fibras, proteínas, vitaminas A e C, β -caroteno, potássio e licopeno, todos excelentes para a saúde humana.

O tomate, pertencente à família Solanaceae, é uma das hortaliças mais consumidas e valorizadas mundialmente, ocupando papel central na agricultura, na indústria alimentícia e na culinária de diversas culturas (Rawat *et al.*, 2024). Botanicamente o tomate é considerado um fruto (FEAGRI, 2010), comercialmente trata-se de uma hortaliça (Carvalho, 2003) que pode ser consumida *in natura* ou processado em diferentes outros produtos.

Segundo dados da FAO (Food and Agriculture Organization, 2021a), em 2019 foram produzidos, a nível mundial, cerca de 1.808 milhões de toneladas de tomate, destacando que a cultura está entre as cinco principais *commodities* vegetais, sendo responsável por 16% da produção global de 2000 a 2019.

No cenário brasileiro, Quezado-Duval *et al.* (2018) destacam o estado de Goiás como maior produtor de tomate, além de ser responsável por atender cerca de 86% da demanda destinada ao processamento por indústrias de atomatados. Segundo dados do World Processing Tomato Council (WPTC, 2023), aproximadamente 38 milhões de toneladas de tomate são processadas no mundo atualmente, considerado assim o principal vegetal para processamento. A produção de derivados do tomate processado está fortemente concentrada entre 10 países, que são responsáveis por cerca de 83% da produção mundial anual, estando o Brasil na oitava posição.

O tomate está presente na culinária de diversas etnias e é amplamente cultivado no mundo inteiro. Por ser o tomate um produto que possui vida útil curta, o seu processamento, logo após a colheita, permite comercialização em diferentes formas. Além de ser apreciado na forma fresca (*in natura*), o tomate, sendo altamente perecível e pela demanda por praticidade, é amplamente consumido em produtos processados de forma caseira ou pelo processamento industrial, como molhos, purês, extratos, sucos e *catchups* (Giordano; Silva; Barbosa, 2000; Steckelberg; Conceição, 2025).

As variedades e forma de cultivo são determinadas em função do mercado a ser destinado, seja o de produto fresco ou produto para processamento, ou o mercado de tomate de mesa ou tomate industrial (World Trade in Tomato Products - WTTP, 2023).

O tomate é altamente perecível e susceptível à contaminação por microrganismos, principalmente quando sofre danos em seus tecidos (Silva *et al.*, 2007). Os frutos com defeitos graves, que não devem ser utilizados para o processamento são tomates verdes, bichados, mofados, rachados, desintegrados e com fundo preto. Outros defeitos que podem apresentar são queimaduras, descoloração, amarelados, com rachadura superficial ou lesionados, apodrecimentos, murchos e com pêndulo (Brasil, 1988).

O tomate destinado ao processamento industrial, de acordo com a Portaria nº 278/88, é “o fruto sadio, com coloração avermelhada, uniforme, sem pedúnculo, fisiologicamente desenvolvido, limpo, com textura de polpa firme, livre de danos mecânicos, fisiológicos, pragas e doenças” (Brasil, 1988). Essa matéria-prima é destinada para produção de extratos, polpas, molhos e conservas de tomate sem pele, sendo que aproximadamente 70% da produção refere-se à produção de extrato (Santos, 2014).

De acordo com a Embrapa Hortaliças (2011), o processamento dos frutos pode ser descrito através das etapas de recebimento, lavagem, seleção, trituração, tratamento térmico, despulpamento e refinamento, evaporação, tratamento térmico, envase e resfriamento. A base para a produção de atomatados é a polpa concentrada.

A polpa de tomate, conhecida também como purê, é produzida a partir de tomates sem sementes e sem pele. Na indústria, é utilizada como base para a produção do catchup e do molho refogado (Cunha, 2006).

Foram registrados aumento na demanda por produtos atomatados,

possivelmente pela praticidade e crescimento da população na área urbana (Camargo *et al.*, 2006). Entre os anos 2007 a 2010, a venda de atomatados cresceu expressivamente, tendo destaque o catchup com 42%, molhos de tomate com 34% e extrato de tomate com 1,5%, e apenas as polpas tiveram redução nas vendas (21%) (Soares; Rangel, 2012).

O comércio global de molhos e catchup apresentou um crescimento significativo entre maio de 2021 e abril de 2022, superando o setor de tomates enlatados e atingindo 1,57 milhão de toneladas comercializadas, com os 14 principais países exportadores respondendo por mais de 83% das remessas mundiais, enquanto a demanda se expandiu em diversas regiões, exceto na América do Norte e em alguns mercados de baixo consumo (World Trade in Tomato Products, 2023).

Para Melo e Vilela (2005), os principais derivados do tomate são o extrato concentrado e os molhos prontos. Segundo Baier e Cattelan (2022), como o tomate possui grande destaque na indústria alimentícia devido aos seus derivados, os principais produtos são os molhos refogados e o *catchup*, por participarem consideravelmente no mercado, pela praticidade no cotidiano dos consumidores. Os diferentes produtos se diferenciam quanto ao teor de sólidos solúveis (°Brix), sabor, acidez e cor (Melo; Vilela, 2005).

A legislação brasileira define molhos como “os produtos em forma líquida, pastosa, emulsão ou suspensão à base de especiaria(s) e ou tempero(s) e ou outro(s) ingrediente(s), fermentados ou não, utilizados para preparar e/ou agregar sabor ou aroma aos alimentos e bebidas” (Brasil, 2005). O molho é um dos derivados de tomate de maior praticidade, pois vem pronto para o consumo, possuindo temperos e sabores variados (Cunha, 2006).

O catchup é um molho à base de tomate utilizado para acompanhamento de pratos, geralmente adicionado de sal, açúcar, vinagre e outros condimentos e especiarias (Reile *et al.*, 2020). De acordo com a legislação brasileira, *catchup* é definido como “o produto elaborado a partir da polpa de frutos maduros do tomateiro, podendo ser adicionado de outros ingredientes desde que não descaracterizem o produto” (Brasil, 2005). Catchup é um molho popular em diversos países, caracterizado pela cor forte, sabor adocicado e consistência espessa (Reile *et al.*, 2020).

O tomate seco é originário da Itália e tem boa aceitação entre os consumidores brasileiros, sendo bastante utilizado em pizzarias e lanchonetes. Ao longo dos anos

sua utilização vem aumentando nas mais variadas receitas de culinária, o que oferece boas perspectivas para os fabricantes desse produto (Stringheta; Meloni, 1999).

Como o tomate é altamente perecível, a elaboração de produto desidratado como tomate seco, apresenta-se como uma alternativa para o aproveitamento do excedente da produção e comercialização *in natura*, além de disponibilizar ao consumidor um produto sensorialmente diferenciado e que, por ser menos perecível, pode ser comercializado em qualquer período do ano (Nachtigall *et al.*, 2000).

2.2 CULTURA DA ALFACE

A alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres, ainda atualmente encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (Filgueira, 2008).

A cultura da alface é considerada a principal hortaliça folhosa do Brasil (Sala; Costa, 2012), sendo também a hortaliça folhosa mais consumida em todo o mundo, e cultivada em quase todos os países (Lal *et al.*, 2024).

A alface é um vegetal verde folhoso de baixo teor calórico, rico em muitos nutrientes e substâncias químicas que promovem a saúde. Tem alto teor de água, o que pode ajudar a manter a hidratação e a apoiar as funções corporais em geral. Tem baixo valor calórico, sendo uma opção saudável para quem busca controlar o peso. É um vegetal rico em vitaminas B1, B2, B9, C, K e alta concentração de vitamina A. Minerais como cálcio e ferro estão entre os abundantes na alface. Esses nutrientes são necessários para diversos processos corporais, como a coagulação sanguínea, a saúde óssea e o fortalecimento do sistema imunológico. As fibras alimentares, presentes na alface, podem auxiliar no funcionamento regular do intestino e evitar a prisão de ventre, contribuindo para a saúde digestiva. Os fitonutrientes encontrados na alface, como a quercetina, podem ter efeitos anti-inflamatórios e antialérgicos. O betacaroteno e os flavonoides, dois tipos de antioxidantes encontrados na alface, podem ajudar a proteger as células contra danos causados pelos radicais livres. Doenças crônicas como câncer e doenças cardíacas estão associadas a uma menor probabilidade de danos induzidos por antioxidantes (Lal *et al.*, 2024).

A cultura da alface gera cinco empregos por hectare, e normalmente é cultivada pela agricultura familiar de forma intensiva (Alencar *et al.*, 2012). Considerando um total de 831.000 ha no Brasil, as hortaliças folhosas correspondem a 37% ocupando

303.965 ha, sendo que a alface ocupa 41% dos hectares. A produção acontece em cinturões verdes próximos aos grandes centros consumidores do Brasil, produto perecível devido a sua grande área foliar e seu alto teor de água, esse é um dos problemas no pós-colheita da alface (Monelli, 2016).

No que se refere à sazonalidade, por ser de ciclo curto (45 a 60 dias), o cultivo pode ser realizado durante o ano inteiro, e com rápido retorno de capital, o que representa uma alternativa de renda e subsistência para os agricultores familiares, e também de fonte alimentar para os consumidores em diferentes épocas do ano, já que existem cultivares de inverno e verão (Lopes; Pedroso, 2013).

Os tipos varietais produzidos no Brasil são lisa, crespa, mimosa, americana, romana, roa/vermelha e mini alface (Sala; Costa, 2012). Segundo dados da CEAGESP (2021), a alface é o 18º produto mais comercializado, totalizando 49.435,5 toneladas com as seguintes variedades: Americana (47%), Crespa (38,5%), Mimosa (5,9%), Lisa (4,28%) e Romana (1%). A alface crespa em 2020 correspondeu a 60% da área total de produção de alface e continua liderando o mercado atual, sendo atualmente a 'Vanda' o padrão de mercado. Porém, com relação às variedades produzidas no Brasil, Sala e Costa (2012), citam a alface crespa, americana, lisa e romana, como preferências nacionais de cultivo e consumo e, segundo Monelli (2016), nota-se uma tendência na elevação da procura por variedades do tipo americana, sendo que estas ocupam aproximadamente 15% do mercado nacional.

2.3 AÇÃO NUTRACÊUTICA DO LICOPENO E OUTROS NUTRIENTES

A alimentação de qualidade é importante para garantir saúde equilibrada para o organismo como um todo. Desta forma, o consumo de alimentos que forneçam nutrientes específicos, pode elevar a imunidade e relacionar a nutrição com o aumento da resposta imunológica do indivíduo (Santos, 2020).

Ribeiro-Silva *et al.* (2020) destacam a importância da segurança alimentar e nutricional, através da qualidade na produção de alimentos, comercialização, oferta e consumo destes produtos. Devido a estes fatores, a aquisição de itens alimentares se refere à oferta suficiente de alimentos *in natura*, como frutas, legumes e vegetais, por exemplo.

O tomate, (*Solanum lycopersicum*) uma das hortaliças mais cosmopolitas e disseminadas no mundo, é um dos principais vegetais que compõem a dieta

mediterrânea, caracterizada pelo expressivo consumo de azeite de oliva, grande quantidade de frutas e vegetais, pães, cereais, castanhas e sementes, além de peixes, aves e consumo moderado de vinho. O alto teor de antioxidantes é uma das justificativas para que seja considerada uma das dietas mais saudáveis, com vários estudos relacionando inversamente o consumo com a redução de riscos para doenças cardiovasculares, certos tipos de câncer, entre outras doenças (Gómez-Romero *et al.*, 2007).

O tomate é rico em fitoquímicos, compreendendo numerosos compostos bioativos, que incluem compostos fenólicos (especialmente ácidos fenólicos e flavonoides) e carotenoides, polifenóis e tomatina - um glicoalcaloide de leve toxicidade encontrado nas folhas, caules e fruto verde. Sua alta capacidade antioxidante é atribuída à vitamina C, ao licopeno, betacaroteno, polifenóis, flavonoides e outros fitoquímicos bioativos presentes no fruto (Borguini *et al.*, 2013; Salehi *et al.*, 2019). Estudos apontam que a função antioxidante dos carotenóides desempenha um papel importante na redução do risco de câncer, catarata, aterosclerose e no processo de envelhecimento (Silva *et al.*, 2010).

A importância do tomate, também como alimento funcional, é atribuída ao seu principal constituinte bioativo, o licopeno (Raupp, 2009). Os compostos fenólicos e os carotenoides, especialmente o licopeno que confere a cor vermelha ao tomate maduro, são os principais compostos bioativos do fruto do tomateiro (Salehi *et al.*, 2019). Classificado como um pigmento natural, o licopeno é responsável pela coloração vermelha característica de diversas frutas e vegetais, particularmente tomates, frutas vermelhas, melancia, mamão, goiaba rosa e toranja rosa. Dentre suas fontes alimentares, os tomates e produtos à base de tomate são os mais abundantes, fornecendo em torno de 80% da ingestão total de licopeno na dieta humana (Tufail *et al.*, 2024).

Os tecidos de plantas comestíveis contêm uma ampla variedade de carotenóides. Os exemplos mais comuns são tomates (licopeno), cenouras (α e β -caroteno), milho (luteína e zeaxantina), pimentas vermelhas (capsantina), urucum (bixina) e batata doce (β -caroteno). Outras fontes vegetais de carotenóides são abóbora, pimentão vermelho e amarelo, inhame, cará, azeitona roxa, repolho roxo, folhas verde-escuras (como brócolis e espinafre), alface, aipo, maçã, damasco, manga, ameixa, frutas vermelhas, melancia, laranja, tangerina, nectarina e mamão. Alguns dos carotenóides apresentam a estrutura cíclica β -ionona em suas moléculas

sendo, portanto, precursores de vitamina A (α , β e γ -caroteno e β -criptoxantina) (Silva *et al.*, 2010). Entretanto, o licopeno é um carotenóide sem atividade de pró-vitamina A (Moritz; Tramonte, 2006).

Além do licopeno, tomates são uma rica fonte de minerais (potássio, magnésio, cálcio, ferro, sódio, fósforo, sódio e zinco) e vitaminas (em especial a vitamina C), como A, E, B (B1, B2, B3, B5, B6, B9) e vitamina K. É fonte de nutrientes como açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, fibras e terpenoides; contendo em média 3% de carboidratos, 1,2% de proteínas e 1% de lipídeos (Parmar *et al.*, 2021; Salehi *et al.*, 2019).

O licopeno é um tetraterpenoide lipossolúvel composto por oito unidades de isopreno. Descoberto por Ernest em 1959, foi inicialmente denominado "licopina" por Schnuck, enquanto Escher posteriormente propôs sua estrutura química. Seu nome tem origem na classificação botânica do tomate, *Solanum lycopersicum* (Tufail *et al.*, 2024).

Atualmente, o licopeno é um componente comum da dieta humana em todo o mundo. Esse nutriente é encontrado em um número limitado de alimentos, e, além disso, o organismo não é capaz de sintetizá-lo. Dessa forma, o licopeno é obtido exclusivamente por meio da dieta alimentar (Tufail *et al.*, 2024; Moritz; Tramonte, 2006).

Os compostos antioxidantes são conhecidos por serem eficazes na prevenção e no tratamento de doenças crônicas. Antioxidantes naturais derivados de plantas como o licopeno, têm sido usados na prevenção destas doenças, pois acredita-se que o licopeno modifique o curso de condições crônicas, incluindo doenças neoplásicas (Anlar; Bacanli, 2020; Przybylska, 2020).

Entre a década de 1990 e os anos 2000, do ponto de vista nutricional, antioxidantes alimentares, particularmente em vegetais, foram ganhando grande interesse entre os consumidores e a comunidade científica, visto que os estudos realizados associaram o consumo destes compostos com menor risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares e câncer, como mostraram Feri (1994), Halliwell *et al.* (1995); Sies e Stahl (1995), Temple (2000), Martínez-Valverde *et al.* (2002). Posteriormente, resultados de pesquisas clínicas confirmam seus efeitos protetores no sistema cardiovascular, por reduzir o risco de infarto do miocárdio, a pressão arterial e prevenir a oxidação do colesterol LDL, visto que a oxidação da molécula de LDL é o passo inicial para o desenvolvimento do processo aterogênico e

conseqüente doença coronária (Przybylska, 2020).

O interesse no licopeno e no seu potencial papel protetor sobre a carcinogênese iniciou quando Giovannucci *et al.* (1995) demonstraram uma relação inversa entre a ingestão de licopeno e a incidência de câncer de próstata. Sobre isso, Boileau *et al.* (2000) enfatizam que o consumo de alimentos ricos em licopeno, bem como uma maior concentração de licopeno no sangue, foi associado a um menor risco de câncer, principalmente de próstata. Segundo Willis e Wians (2003), o licopeno é encontrado na próstata humana, sugerindo a possibilidade biológica de um efeito direto deste carotenóide tanto na função da próstata quanto da carcinogênese.

Evidências clínicas destacam o papel do licopeno como um micronutriente com importantes benefícios à saúde, por fornecer proteção contra uma ampla gama de cânceres epiteliais (Shi; Le Maguer, 2000). Por ter forte atividade antioxidante, altas concentrações de licopeno no sangue estão associadas além da redução de câncer de próstata, à diminuição da probabilidade da incidência de câncer de pulmão, gástrico e útero (Anlar; Bacanli, 2020; Przybylska, 2020). O licopeno não apenas inibe a proliferação de células neoplásicas, mas também induz a apoptose e previne metástases (Przybylska, 2020).

Os efeitos na saúde atribuídos a este composto são principalmente derivados de suas propriedades antioxidantes. Foi demonstrado que o licopeno aumenta os níveis de glutathione e as atividades de enzimas antioxidantes, como glutathione peroxidase, catalase e superóxido dismutase. Pode ainda proteger o DNA, os lipídios e outras macromoléculas com sua propriedade antioxidante, impedindo a oxidação de lipídios (Przybylska, 2020; Chaudhary *et al.*, 2018). Estudos experimentais e clínicos também confirmaram os efeitos positivos do licopeno no sistema esquelético e em doenças neurodegenerativas, incluindo Alzheimer e Parkinson (Przybylska, 2020).

O licopeno é o carotenoide predominante no plasma e nos tecidos humanos, sendo encontrado em um número limitado de alimentos de cor vermelha, como tomates e seus produtos, que são umas das fontes mais ricas desse pigmento, além de goiaba, melancia, mamão e pitanga. Não tem atividade de provitamina A, é lipossolúvel e possui, entre os carotenoides, a maior capacidade sequestrante do oxigênio singlete (uma forma altamente reativa e energética do oxigênio – Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) - que causa oxidação destrutiva nas células). Com isso, protege biomoléculas como lipídeos, proteínas, lipoproteínas de baixa densidade (LDL) e o DNA, e assim funciona como um antioxidante muito potente. Além disso, ele

é capaz de reduzir a mutagênese e, em concentrações fisiológicas, pode inibir o crescimento de células humanas cancerígenas, especialmente em câncer de próstata, estômago e pulmão sem evidência de efeitos tóxicos ou apoptose celular (Silva *et al.*, 2015).

O licopeno, um carotenoide não cíclico encontrado em tomates, é o removedor de radicais livres mais eficaz *in vitro* de todos os carotenoides (Anlar e Bacanlı, 2020). Um carotenoide não cíclico, ou caroteno, é uma classe de pigmentos naturais que não contém oxigênio na sua estrutura (diferindo das xantofilas que possuem oxigênio). Os carotenoides não cíclicos incluem o β -caroteno, α -caroteno e o licopeno, encontrados em plantas e microrganismos, que são responsáveis pelas cores laranja, vermelha e amarela e atuam como antioxidantes e precursores da vitamina A (Uenojo *et al.*, 2007).

De acordo com Shami e Moreira (2004) e Caseiro *et al.* (2020), o licopeno é o pigmento responsável principalmente pela cor vermelho-escura do tomate. É encontrado nas cascas de tomates maduros e seus derivados, sendo um carotenoide presente nos frutos e produtos de tomate processados, além de diversas frutas e considerado o de mais alta capacidade antioxidante, entre os carotenoides da dieta.

A quantidade de licopeno em produtos processados depende da composição do alimento de origem e das condições de processamento. Os níveis de licopeno nos produtos processados são geralmente maiores do que os encontrados em alimentos crus, visto que devido ao processamento ocorre a concentração de licopeno em produtos como purê e pasta de tomate (Shami; Moreira, 2004).

O valor nutricional, o sabor e a cor do tomate e seus derivados dependem dos carotenoides (licopeno, (3-caroteno), vitamina C, ácido glutâmico, açúcares e flavonoides (naringenina, chalcona, quercetina) (Martí *et al.*, 2016; Chaudhary *et al.*, 2018). Os benefícios antioxidantes do tomate foram atribuídos às suas propriedades biológicas e físico-químicas, especialmente relacionadas a efeitos como antioxidante natural e conteúdo de carotenóides, constituindo cerca de 80-90% do teor total de carotenóides do fruto (Shi; Le Maguer, 2000).

Neste sentido, como orientação dietética, torna-se necessário estimular o consumo da população por alimentos fontes de licopeno, assim como de frutas e vegetais ricos em antioxidantes, procurando suprir as necessidades diárias, a fim de evitar o estresse oxidativo e os danos celulares (Shami; Moreira, 2004).

2.4 BIOFORTIFICAÇÃO EM HORTALIÇAS

O índice elevado da expectativa de vida tem gerado um grande interesse em todo o mundo sobre a alimentação saudável. Nesse sentido, vem ocorrendo um importante acréscimo do cultivo de alimentos específicos, com o intuito de promover o equilíbrio e a manutenção da saúde (Alencar; Morais, 2021).

A deficiência de micronutrientes (vitaminas e minerais), um dos grandes problemas de saúde pública, são identificadas como problemas no complexo quadro alimentar e nutricional dos brasileiros, gerando a adoção de medidas para seu enfrentamento desde a segunda metade do século XX (Alves, 2021).

Esta carência está relacionada a falta de consumo de alimentos que fornecem nutrientes necessários para o bom funcionamento do organismo (Ruel-Bergeron *et al.*, 2015). Assim, surge a necessidade da produção e consumo de alimentos suplementados como uma alternativa para auxiliar em casos de deficiências nutricionais, a fim de proporcionar uma dieta rica e equilibrada (Domingues *et al.*, 2023).

Pensando na premissa de que a agricultura é o ponto chave para o fornecimento da maior parte de nutrientes e compostos para a sobrevivência humana (Saltzman *et al.*, 2013), a solução para a diminuição da fome oculta tem que partir do campo e a biofortificação tem sido uma opção favorável para integrar esse grupo de estratégias (Qaim *et al.*, 2007).

Existem diversos tipos de técnicas de biofortificação, mas, de forma geral, as abordagens podem ser categorizadas em duas grandes categorias: uma que emprega abordagens agronômicas (como o uso de fertilizantes ricos em micronutrientes) e outra que emprega uma abordagem de melhoramento genético (Bhardwaj *et al.*, 2022). Assim, a biofortificação pode ser definida como uma técnica que tem como premissa o enriquecimento de culturas, com vitaminas e minerais específicos nas partes comestíveis da planta, por meio do melhoramento convencional e práticas agronômicas (Nestel *et al.*, 2006; Hirshi, 2009; Bouis *et al.*, 2011).

A biofortificação agronômica é realizada utilizando fertilizantes enriquecidos com micronutrientes e é uma medida simples e rápida para aumentar o valor nutricional das culturas, sendo que o consumo dessas culturas melhora o estado nutricional humano (Cakmak; Kutman, 2017). Baseia-se em métodos de aplicação de fertilizantes, solubilização de elementos minerais e mobilização da fonte para o dreno

(partes consumíveis da planta) (Bhardwaj *et al.*, 2022). É considerada uma alternativa de grande contribuição para reduzir problemas de deficiência e desnutrição, além de despertar interesses sobre sua influência nos rendimentos da produção (Qaim *et al.*, 2007).

A biofortificação difere da fortificação convencional pois, tem como objetivo, o incremento do nível de nutrientes durante o desenvolvimento da planta e não durante o processamento do alimento, em que ocorre a adição de sais inorgânicos ou, ainda, no caso dos alimentos bioenriquecidos, que podem ter os seus teores nutricionais aumentados com o acréscimo de nutrientes no processamento de alimentos, promovendo o aumento do teor de determinado nutriente pelo efeito indireto da ação destas substâncias. Dessa forma, a biofortificação pode atingir populações onde as ações de suplementação e fortificação convencional são de difícil implementação e/ou são limitadas. Observa-se ainda que variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (Graham *et al.*, 2007).

A biofortificação agronômica é obtida por meio da elevação nutritiva do solo e das plantas durante o seu desenvolvimento, não sendo necessário o processo de seleção genética. O ferro (Fe), zinco (Zn), cálcio (Ca) e selênio (Se) são os principais minerais explorados, já que são escassos em dietas à base de plantas. Esse tipo de biofortificação envolve o uso de manejo agronômico adequado, como a utilização de adubos minerais, irrigação adequada, controle de pragas e doenças, rotação de culturas, entre outras práticas que auxiliam na melhor absorção e disponibilidade de nutrientes para as plantas, contribuindo para o aumento no teor de nutrientes nos alimentos (Loureiro *et al.*, 2018).

Sendo assim, a biofortificação agronômica é uma alternativa mais em conta, alterando apenas a forma de manejo, principalmente na etapa de adubação, já que esse método objetiva o melhoramento dos alimentos através do uso de elementos minerais durante o processo produtivo das culturas (Vergutz *et al.*, 2016).

Assim, a biofortificação tem como grande benefício, a vantagem em alcançar áreas remotas começando no sentido do rural para o urbano, o contrário do que é feito em estratégias, como suplementação e fortificação industrial. O foco é disponibilizar variedades de culturas com maiores concentrações de micronutrientes e de rendimentos aos agricultores, que poderiam além de consumir, comercializar esses

produtos, atingindo assim moradores de áreas rurais e urbanas (Saltzman *et al.*, 2013).

Nesse sentido, diversos autores verificaram que o teor de Se em culturas agrícolas aumentou, após a introdução desse elemento na adubação, demonstrando ser uma técnica útil para elevar a ingestão de Se pela população (Ríos *et al.*, 2008; Dimkovikj; Van Hoewyk, 2014; Hawrylak-Nowak *et al.*, 2015; Malagoli *et al.*, 2015), o que torna a prática importante, uma vez que Ferreira *et al.* (2002) relataram que a concentração de Se nos alimentos de origem vegetal consumidos no Brasil é considerada baixa, em relação aos padrões internacionais.

Um dos relatos de maior sucesso da biofortificação é a batata-doce de polpa laranja, conhecida como cultivar Beauregard, que apresenta 10 vezes (acima de 200 mg/g) mais carotenóides que as demais cultivares. Essa cultivar foi altamente aceita pelos agricultores, fato que possibilitou o aumento da sua área cultivada em 59% em Moçambique e 44% na Uganda. A ingestão de vitamina A por parte da população desses países dobrou (Hotz *et al.*, 2012), podendo o consumo dessa cultivar biofortificada, eliminar cerca de 38 a 64% da necessidade por vitamina A na Uganda (Meenakshi *et al.*, 2010; Marzullo, 2021).

2.4.1 Utilização do Selênio na Biofortificação

A técnica de biofortificação com Se consiste em aumentar a concentração desse elemento em culturas agrícolas, por meio da sua introdução na adubação das plantas ou por melhoramento genético, visando atender à necessidade humana ou animal (Graham *et al.*, 2007; Cakmak, 2008).

Assim, a biofortificação com selênio visa aumentar o teor deste micronutriente em alimentos, pois ele é essencial para a saúde humana e, embora benéfico, não é essencial para as plantas (Ferreira, 2016). As plantas assimilam compostos inorgânicos de selênio presentes no solo (predominantemente selenatos e selenitos), apesar de não necessitarem deles para o seu desenvolvimento ou sobrevivência (Nóbrega, 2015). Entretanto, Pereira (2019) afirma que o micronutriente é caracterizado como um elemento benéfico para algumas plantas contribuindo para formação de compostos selênicos, além de ativar enzimas hidrolíticas, auxiliando na germinação de sementes e reduzindo os efeitos de estresses abióticos.

Nos últimos anos, com a intensificação das pesquisas sobre o enriquecimento

de Se em plantas, a biofortificação com Se emergiu como uma estratégia eficaz para elevar o teor de Se nas plantas (Zhou *et al.*, 2025). De acordo com Chen *et al.* (2023), estudos demonstraram que por meio de pulverização foliar, aplicação no solo ou hidroponia, as plantas podem absorver e converter várias formas exógenas de Se em Se orgânico. Isso não apenas aumenta o teor de Se nas plantas e promove seu crescimento e desenvolvimento, como também aumenta a concentração de metabólitos secundários das plantas, aumentando assim a resistência ao estresse abiótico.

Hartikainen (2005) observou que a suplementação com o mineral melhora o teor dos elementos no solo, aumentando assim sua concentração nas plantas, animais e humanos, fazendo com que o selênio esteja em uma faixa segura e adequada, melhorando também a produtividade das culturas. Boldrin *et al.* (2012) e Qaim *et al.* (2014) observaram que a adubação com selênio via solo proporciona aumento dos teores em grãos de trigo e arroz, enquanto que Inocêncio (2014), constatou maior sucesso da aplicação de selênio via foliar em culturas de soja e trigo.

Solos rochosos e acídicos possuem concentrações menores de selênio que aquelas observadas em solos alcalinos de regiões mais secas, sendo esta disponibilidade também influenciada pelo tipo de adubo utilizado e quantidade de matéria orgânica encontrada (Nóbrega, 2015).

O selênio pode ser encontrado nos solos como seleneto (Se^{2-}), selênio elementar (Se^0), selenito (SeO_3^{2-}), selenato (SeO_4^{2-}) e selênio orgânico (SeCys e SeMet). Em condições comuns, as espécies mais predominantes nos solos são o selenito (SeO_3^{2-}) e o selenato (SeO_4^{2-}) (Winkel *et al.*, 2015; Schiavon *et al.*, 2020).

Na natureza, o Se existe principalmente em formas inorgânicas e orgânicas. O Se inorgânico, como selenito, selenato e Se elementar, pode ser absorvido e utilizado pelas plantas a partir do solo. Por outro lado, dentro das plantas, o Se ocorre principalmente como espécies orgânicas, incluindo selenocisteína (SeCys) e selenometionina (SeMet), bem como compostos que contêm Se, como os polissacarídeos de Se (Cheng *et al.*, 2023). Seu aproveitamento pela planta depende de fatores como a forma química, concentração, espécie vegetal e condições do solo (Ramos, 2011).

A nanotecnologia melhorou significativamente a biodisponibilidade do Se em plantas, ao mesmo tempo que reduziu sua toxicidade (Garza-Garcia *et al.*, 2022). Comparadas às formulações tradicionais de Se, as nanopartículas de Se (SeNPs) não

só facilitam a absorção pelas plantas, como também aumentam o fornecimento de suporte nutricional e proteção antioxidante (Wang *et al.*, 2022). Além disso, as SeNPs fortalecem o sistema imunológico das plantas, melhorando a resistência a pragas e doenças (El-Saadony *et al.*, 2021; Miksanek, Adarkwah e Tuda, 2024). Mais importante ainda, as SeNPs reduzem a necessidade de fertilizantes químicos e agrotóxicos, aumentando assim a resiliência, a produtividade e a qualidade das culturas, o que promove práticas agrícolas sustentáveis (Wang *et al.*, 2023).

A Figura 1 descreve os processos do ciclo do selênio nas plantas. Uma vista ampliada da estrutura da raiz mostra que as principais proteínas transportadoras para a absorção de selênio em plantas (proteínas transportadoras de selenato Sultr1;2, proteínas transportadoras de selenito NIP2;1 e PHT2 e permeases de aminoácidos AA Tr.) estão localizadas na periderme da raiz. O selenito é a principal forma de selênio transportada pelo xilema até as folhas, onde é finalmente convertido em selenoaminoácidos. O selenato é transportado para o xilema via SULTR2;1 nas células parenquimáticas do xilema e do periciclo, enquanto os compostos orgânicos de selênio produzidos nas células foliares, principalmente selenoaminoácidos, são posteriormente transportados pela permease de aminoácidos (AAP) pelo xilema até a folha e pelo floema, e assim para toda a planta. Finalmente, as formas voláteis DMSe e DMDSe geradas nas folhas são liberadas para a atmosfera. As setas sólidas representam etapas catalíticas confirmadas, enquanto as setas tracejadas representam reações de múltiplas etapas ou transporte omitidos (Zhou *et al.*, 2025).

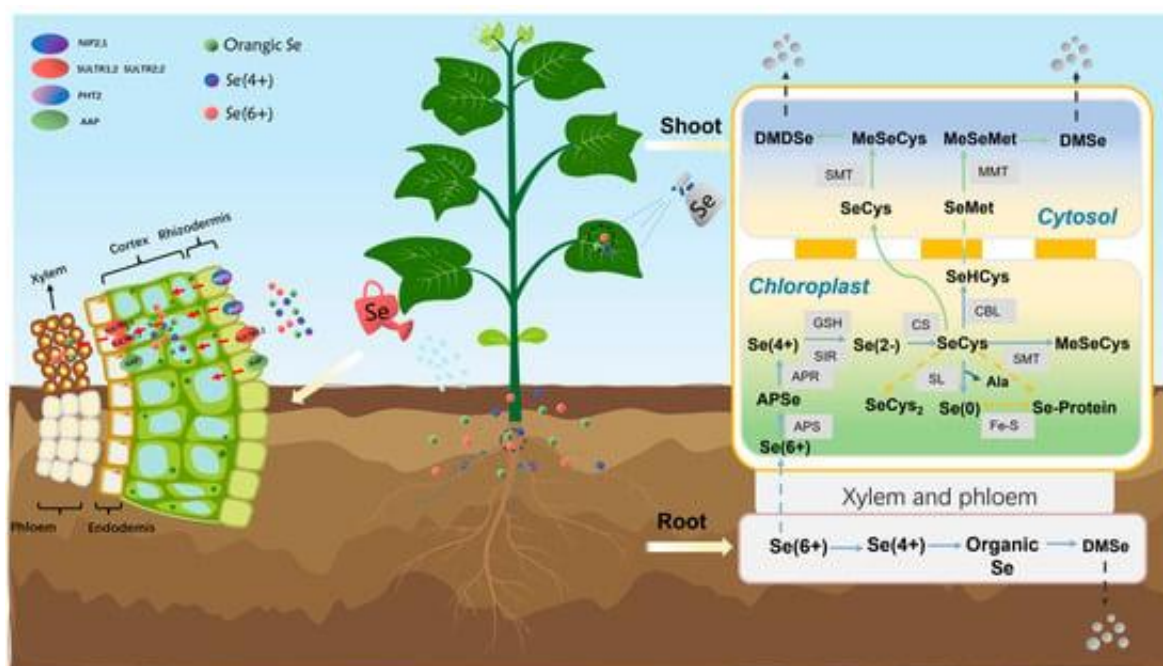


Figura 1 - Processos do ciclo do selênio em plantas.

Fonte: Zhou *et al.*, (2025).

2.5 ALIMENTOS ORGÂNICOS E SUA PRODUÇÃO

A agricultura orgânica é um sistema de produção não convencional, que não faz uso de fertilizantes sintéticos, reguladores de crescimento e aditivos para a alimentação animal, baseando-se no uso de esterco animal, adubação verde, compostagem, controle biológico de pragas e doenças, entre outros. É um sistema de cultivo que se contrapõe aos pacotes tecnológicos advindos da chamada agricultura industrial, que foca principalmente no aumento da produtividade, na menor preocupação com o meio ambiente e manutenção do equilíbrio ecológico (Costa Júnior *et al.*, 2023).

A crescente demanda por alimentos mais saudáveis e livres de agroquímicos vem estimulando o crescimento do setor da agricultura orgânica em todo o mundo. No Brasil, o movimento orgânico iniciou-se ao final da década de 1970. Com a instituição da Lei n. 10.831/2003, o país projetou-se internacionalmente como um dos que mais avançaram em favor da produção e comercialização desses alimentos, trazendo segurança e confiabilidade na produção para os produtores e, para os consumidores mais exigentes, proteção e garantia para aquisição desses produtos. Assim, no Brasil, a agricultura orgânica tornou-se uma alternativa viável, favorecendo o crescimento de

consumidores exigentes por alimentos mais saudáveis e livres de agroquímicos. A Lei nº 10.831/2003 constituiu o marco legal regulatório a respeito da agricultura orgânica no Brasil, permitindo assim projetar o país internacionalmente em termos de produção e comercialização (Lourenço; Schneider; Gazolla, 2017; Costa Júnior *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, a crescente preocupação com o meio ambiente e por uma alimentação mais saudável, têm impulsionado a busca por alimentos orgânicos. O cultivo orgânico apresenta benefícios fundamentais, como a qualidade superior dos alimentos, devido à ausência de resíduos de produtos químicos, o que promove uma alimentação mais saudável. Observa-se ainda que a agricultura orgânica emerge como uma alternativa rentável para pequenos produtores, favorecendo maior valorização dos produtos orgânicos juntamente com a redução dos custos de produção, resultante da diminuição de produtos aplicados (Silva *et al.*, 2024).

Assim, o aumento da demanda de alimentos orgânicos, produzidos de forma a valorizar a diversidade biológica e livre de agressões ao meio ambiente e ao homem, é uma tendência que favorece a criação de novas oportunidades, como emprego e renda ao produtor (Ferreira *et al.*, 2010).

Melo *et al.* (2009) destacam que a agricultura orgânica tem reconhecimento social, político e científico em todo o mundo por estar fundamentada na aplicação de estratégias agroecológicas, mediante o uso de insumos locais, aumentando o valor agregado dos produtos e propiciando uma cadeia de comercialização mais justa.

Azevedo (2012) descreve que a preocupação crescente com o binômio dieta-saúde tem provocado um aumento do número de pessoas que consomem alimentos orgânicos, já que no sistema convencional utilizam-se produtos químicos que, quando ingeridos podem ser prejudiciais à saúde humana. Assim, segundo Muñoz *et al.* (2016), ao optar por alimentos orgânicos, o consumidor não ingere substâncias tóxicas e apoia um processo de transição ecológica que visa à desintoxicação gradual dos alimentos, do solo e das águas, favorecendo a saúde ambiental além de incentivar a agricultura familiar e pequenos produtores.

Segundo Friedrich *et al.* (2018), o Brasil se destaca como um grande consumidor mundial de agrotóxicos quanto a produção de alimentos. Dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) destacam que o uso dessas substâncias relaciona-se fortemente à incidência de diversas doenças e que, no Brasil, 70% dos alimentos *in natura* estão contaminados com resíduos de pesticidas acima dos limites toleráveis ou contêm substâncias não autorizadas (Brasil, 2015).

Para Campos (2005), as consequências do cultivo convencional são elevação dos custos de produção, contaminação dos alimentos por agrotóxicos e redução de sua qualidade com vista ao surgimento das doenças crônicas degenerativas que ocasionam o aumento da mortalidade.

As restrições quanto aos diferentes contaminantes se devem aos diversos (e controversos) estudos que apresentam efeitos de algumas dessas substâncias na saúde humana. Outra questão diz respeito a diminuição da qualidade do solo e da quantidade de nutrientes, especialmente micronutrientes, em muitos alimentos provenientes dos métodos convencionais de plantio, irrigação e uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, bem como ao valor nutricional dos alimentos orgânicos em comparação aos alimentos produzidos de forma convencional (Hite; Broadley, 2005).

Os alimentos orgânicos são definidos como aqueles alimentos *in natura* ou processados que são oriundos de um sistema orgânico de produção agropecuária e industrial. A produção de alimentos orgânicos é baseada em técnicas que dispensam o uso de insumos como pesticidas sintéticos, fertilizantes químicos, medicamentos veterinários, organismos geneticamente modificados, conservantes, aditivos e irradiação e, sua produção está direcionada ao uso de práticas de gestão e manejo do solo, que levam em conta as condições regionais e a necessidade de adaptação local aos sistemas de produção (Food and Agriculture Organization, 2021b).

O tomate, uma das olerícolas mais difundidas no mundo que, além de ser uma importante *commodity* mundial, ocupa lugar de destaque na mesa do consumidor. Entretanto, os problemas observados com relação ao uso indiscriminado de agrotóxicos na cultura, tem promovido a busca por sistemas orgânicos de produção (Borguini, 2006; Vizzotto *et al.*, 2012).

Neste sentido, Silva *et al.* (2024) afirmam que o tomate é uma cultura adequada para o manejo orgânico, por ser a segunda hortaliça mais consumida no Brasil e, muitas vezes, chegar ao consumidor com resíduos de defensivos químicos, tornando necessárias metodologias de higienização adequadas. O crescente interesse pelo tomate orgânico reflete a busca do consumidor por uma opção mais saudável, incentivando estudos contínuos sobre seu manejo orgânico.

Santos *et al.* (2020) avaliaram a qualidade nutricional e teores de contaminantes em plantas de *alface cv. Crespa* cultivadas em sistemas agroecológicos e convencionais, onde foram analisadas a composição nutricional, ingestão média diária (IMD), teores de metais pesados e nitratos. Os resultados

mostraram que as plantas de alface sob cultivo agroecológico, apresentaram valores de nitrogênio, potássio, ferro e cobre respectivamente maiores que a alface sob cultivo convencional, comprovando que os sistemas agroecológicos contribuem para a produção de plantas de alface com melhor qualidade nutricional.

2.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Antioxidantes são agentes responsáveis por reduzir as lesões causadas pela presença dos chamados radicais livres nas células, ou seja, eles retardam ou bloqueiam o processo de oxidação produzido pela presença desses radicais, protegendo as células (Mosca; Sanches; Comune, 2017). Assim, antioxidantes podem ser de grande benefício para a melhoria da qualidade de vida, devido a capacidade de proteger um organismo dos danos causados por estes radicais, prevenindo ou adiando o início de várias doenças (Oliveira, 2015).

Os antioxidantes podem ser classificados em sintéticos e naturais. Os sintéticos apresentam uma estrutura fenólica, que permite a doação de um próton ao radical livre, regenerando assim compostos oxidados e interrompendo o processo de oxidação (Reische; Lillard; Eitenmiller, 2008). Já os antioxidantes naturais são encontrados nos organismos vivos, sendo substâncias como o ácido ascórbico, compostos fenólicos, tocoferóis e carotenóides, sintetizados pelos vegetais (Del Ré; Jorge, 2012). A produção destes compostos depende das condições ambientais e pode ser favorecida ou regulada através das condições adversas, como elevada radiação, temperatura, desequilíbrio mineral ou ataque por agentes patogênicos (Cavalcante; Borges; Souza, 2024).

Os principais agentes de defesa antioxidante podem ser classificados em enzimáticos (Catalase, Superóxido dismutase, NADPH-quinona oxido redutase, Glutathione peroxidase e Enzimas de reparo) ou não enzimáticos (Carotenóides (betacaroteno, licopeno), Ácido ascórbico, Flavonoides, α -tocoferol (vitamina E), Curcumina, Selênio, Clorofila, Glutathione, L-cisteína, Proteínas do plasma) (Mosca; Sanches; Comune, 2017; Gulcin, 2025).

Os radicais livres (RL) são naturalmente produzidos pelo organismo humano. Eles podem ser gerados pelo metabolismo dentro de diversas organelas celulares, como na mitocôndria, citoplasma ou na membrana. São essenciais no desempenho de diversas funções metabólicas e na ativação do sistema imunológico, como

exemplo, durante o combate às inflamações e eliminando as bactérias. Esses são chamados de radicais livres de origem endógena, cujas fontes são respiração aeróbica, inflamações, peroxissomos e enzimas do citocromo. Já os RL de origem exógena, são originados a partir de fatores externos ao organismo, cujas fontes são radiação solar, consumo de tabaco e álcool, maus hábitos alimentares, poluição ambiental, luz ultravioleta, substâncias presentes em alimentos e bebidas, como os resíduos de agrotóxicos, diversos aditivos químicos e hormônios, além de uma alimentação rica em gorduras saturadas (Mosca; Sanches; Comune, 2017; Oliveira *et al.*, 2021; Chaudhary *et al.*, 2023). A exposição a fatores ambientais como tabagismo, radiação ultravioleta (UV), metais pesados, ozônio, alérgenos, medicamentos, toxinas e poluentes ambientais pode elevar os níveis de EROs dentro das células (Bayrak *et al.*, 2022)

Os antioxidantes são substâncias capazes de neutralizar um radical livre, doando o elétron que eles precisam. Neste sentido, pode-se definir quimicamente os RL como átomos ou moléculas que contém um ou mais elétrons não pareados, ou seja, falta em sua estrutura química um ou mais elétrons. Assim, os RL podem doar ou aceitar um elétron, atuando, portanto, como oxidantes e redutores. Por este motivo os RL atacam as outras moléculas, roubando ou cedendo elétrons para se tornarem estáveis, podendo reduzir os seus elétrons (oxidar). Os RL contém um número ímpar de elétrons na última camada, o que os torna instável e altamente reativo, fazendo com que esteja sempre buscando capturar ou ceder elétrons das células à sua volta. Ao capturar o elétron, os RL atuam como agente oxidante, um processo que danifica a membrana e a estrutura da célula, podendo em casos extremos, levar a morte celular (Mosca; Sanches; Comune, 2017; Chaudhary *et al.*, 2023).

Os RL são naturalmente produzidos pelo organismo humano, durante o processo de combustão por oxigênio, utilizado para converter os nutrientes dos alimentos absorvidos em energia. A geração de espécies reativas de oxigênio (ERO) altamente reativas é uma característica importante do funcionamento normal do sistema celular, visto que em condições normais, os radicais livres não são prejudiciais à saúde, ao contrário, são essenciais para o funcionamento do organismo, no desempenho de diversas funções metabólicas, possibilitando a geração de ATP (energia), por meio da cadeia transportadora de elétrons e no funcionamento do sistema imunológico com participação de mecanismos de defesa durante o processo de infecção (Mosca; Sanches; Comune, 2017; Chaudhary *et al.*, 2023). Participam

ainda da ovulação, fertilização do óvulo, ativação de genes, respostas mitogênicas, vias de sinalização celular, metabolismo do ácido araquidônico, fagocitose e cadeia respiratória mitocondrial. Além da prevenção de doenças crônicas como as cardiovasculares, renais e hepáticas (Phaniendra *et al.*, 2015; Chaudhary *et al.*, 2023).

Além disso, o peróxido de hidrogênio e o ânion superóxido (principais membros e intermediários na produção de ERO em sistemas biológicos), podem estimular a produção de segundos mensageiros como o óxido nítrico e o GMPc (monofosfato de guanosina cíclico), que tem ação no relaxamento da musculatura lisa vascular e na inibição da adesão plaquetária (Barbosa *et al.*, 2010; Mosca; Sanches; Comune, 2017).

Porém entre os fatores exógenos, potencialmente geradores de radicais livres, estão xenobióticos, radiações ionizantes e metais pesados, levando os RL a causar elevada produção de ERO, o qual é negativo ao organismo resultando no estresse oxidativo, contribuindo assim no enfraquecimento do sistema imunológico e o envelhecimento precoce (Lykkesleldt, 2007; Mosca; Sanches; Comune, 2017). Desta forma, em níveis mais elevados, essas espécies reativas geram estresse nitrosativo e oxidativo, com sua geração multiplicando-se muitas vezes durante complicações patológicas (Phaniendra *et al.*, 2015).

Assim, os RL desempenham um duplo papel, atuando como compostos tóxicos e benéficos para o organismo. Em baixas concentrações, têm efeitos benéficos e participam de diferentes processos fisiológicos (Prevedello; Comachio, 2021). Mas sua produção excessiva está diretamente relacionada com a morte celular e o processo de envelhecimento, bem como o surgimento de alguns problemas de saúde e diversos tipos de doenças, como câncer, arteriosclerose e diabetes (Mosca; Sanches; Comune, 2017; Prevedello; Comachio, 2021).

Pesquisas indicam que alguns hábitos junto a uma dieta rica em antioxidantes podem reduzir os riscos de desenvolver as principais doenças causadas pelo estresse oxidativo (Mosca; Sanches; Comune, 2017; Chaudhary *et al.*, 2023). Desta forma, é importante que o organismo estabeleça o equilíbrio entre os antioxidantes e os radicais livres (oxidantes), havendo uma variedade de meios, tanto de evitar a produção de radicais, quanto para estabilizar os que já estiverem ativos. Assim, recomenda-se a prática de atividade física regularmente, uso de protetor solar, fotoprotetores orais (cápsulas que fornecem substâncias ricas em ativos antioxidantes) e uma dieta rica em antioxidantes (Mosca; Sanches; Comune, 2017).

2.6.1 Compostos Fenólicos Totais

Compostos Fenólicos Totais (CFT) é um termo amplo que engloba uma grande classe de metabólitos secundários das plantas, contendo um anel aromático com pelo menos um grupo hidroxila. Isso inclui flavonoides, taninos, ácidos fenólicos, quinonas, entre outros (Ferreira *et al.*, 2016).

Os compostos fenólicos são uma classe de compostos, divididos em dois grupos: ácidos fenólicos (ácido cinâmico e derivados) e flavonoides e derivados, com diversidade de estruturas, que possuem pelo menos um anel aromático, no qual, ao menos um hidrogênio é substituído por uma hidroxila (OH). São solúveis em água e em solventes orgânicos polares, são altamente reativos, de caráter ácido, e podem formar ligações de hidrogênio intra e intermoleculares (Bazani, 2019). Como substâncias produzidas pelas plantas para defesa contra insetos, radiação UV e patógenos, os CFT dispõem de ampla classe de moléculas que possuem um ou mais anéis de benzeno com grupos hidroxila (Cavalcante; Borges; Souza, 2024).

Estão presentes em todos os órgãos vegetais e, conseqüentemente, são essenciais para a nutrição humana (Edo *et al.*, 2024). Podem ser definidos como metabólitos secundários amplamente distribuídos no reino vegetal, desempenhando funções essenciais na defesa das plantas contra estresses ambientais e conferindo características sensoriais a diversos alimentos. Além disso, os compostos fenólicos foram identificados como responsáveis por conferir cor, sabor e aroma a diferentes produtos alimentícios, sendo componentes fundamentais na qualidade sensorial de frutas, uvas, vegetais, cereais, azeitonas, azeite de oliva, leguminosas, substâncias achocolatadas e bebidas como vinho, chá, café e cerveja (Edo *et al.*, 2024; Cavalcante; Borges; Souza, 2024).

Sua função no organismo humano é agir como potentes antioxidantes, neutralizando radicais livres que danificam células e o DNA. A quantificação de CFT e flavonoides totais são fundamentais em estudos de bioquímica e nutrição para medir sua capacidade de combater o envelhecimento celular (Cavalcante; Borges; Souza, 2024).

Os compostos fenólicos são amplamente utilizados por apresentarem atividades biológicas como a antioxidante e a antimicrobiana. A atividade antioxidante consiste na capacidade do composto em inibir ou bloquear os processos oxidativos causados pelas ERO, tais como ânion superóxido, radical hidroxila, óxido nítrico,

peróxido de hidrogênio e radical lipídico, protegendo as moléculas de lipídeos, proteínas e carboidratos que são os principais alvos do processo de oxidação (Cavalcante; Borges; Souza, 2024).

2.6.2 Flavonoides

Flavonoides Totais são um subgrupo específico e importante dentro dos compostos fenólicos. Portanto, todos os flavonoides são compostos fenólicos, mas nem todos os compostos fenólicos são flavonoides. Como os flavonoides são apenas uma parte do total de fenóis, o teor de flavonoides totais é quase sempre menor do que o teor de fenóis totais em uma amostra vegetal (Moraes *et al.*, 2022; Gulcin, 2025).

Os flavonoides são substâncias que possuem estruturas fenólicas variáveis com um ou mais núcleos aromáticos contendo substituintes hidroxilados ou seus derivados como ésteres, éteres, glicosídeos e outros, sendo comumente encontrados nas plantas na forma de glicosídeos. Em sua estrutura química possuem 15 carbonos distribuídos por dois anéis aromáticos ligados através de um anel pirano (Pereira *et al.*, 2009).

Os flavonoides são derivados da benzopirona, sendo constituídos por um anel fenólico e um pirano (Heim *et al.*, 2002). Comumente, a estrutura básica desses compostos é conhecida como difenilpropano (C₆-C₃-C₆) em referência aos dois anéis aromáticos ligados por meio de três carbonos que usualmente formam um heterociclo oxigenado (Figura 2) (Heim *et al.*, 2002).

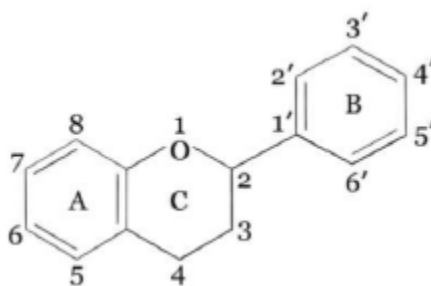


Figura 2 - Estrutura básica dos flavonoides.

Os flavonoides diferem entre si pelo modo como os grupos hidroxilas, metoxilas e glicosídicos estão ligados à estrutura básica e pela conjugação entre os anéis A- e B-(Heim *et al.*, 2002).

São pigmentos naturais que dão cores vibrantes a flores, frutas e folhas, existindo mais de 8.000 compostos polifenólicos identificados, com mais de 4.000 classificados como flavonoides, sendo as principais classes os flavonóis, isoflavonas, flavonas, flavanonas, flavanas, antocianinas e proantocianidinas (ou taninos condensados), encontrados em diversas partes das plantas, incluindo folhas, caules, raízes, frutos, legumes, grãos, cascas, flores, sementes, chás, vinhos, própolis e mel (Caetano, 2020; Moraes *et al.*, 2022; Gulcin, 2025).

Amplamente presentes em plantas, especialmente em alimentos de origem vegetal, os flavonoides são polifenólicos e atuam como potentes antioxidantes, desempenhando um papel significativo na prevenção de doenças crônicas. Como benefícios, estão suas propriedades anti-inflamatórias, antivirais e a melhora da saúde dos vasos sanguíneos. Alguns exemplos são as catequinas (chá verde), quercetina (cebola e maçã) e antocianinas (frutas vermelhas) (Moraes *et al.*, 2022). Seus derivados representam mais de um terço do total de novas moléculas aprovadas pelo FDA (*Food and Drug Administration*) (Caetano, 2020).

Considerado um dos antioxidantes mais encontrados em vegetais, os flavonoides têm a capacidade de sequestrar os radicais livres e alguns desses compostos tem considerável importância na dieta, devido ao poder de inibir o processo de peroxidação lipídica em ambos os compartimentos celulares, tanto o lipofílico quanto o hidrofílico, que tem a capacidade de doar átomos de hidrogênio e, portanto, inibir as reações em cadeia provocadas pelos radicais livres (Pereira *et al.*, 2009; Bazani, 2019).

Os produtos de tomate processados (molhos, extratos, purês, polpa) contêm diversos flavonoides, sendo os mais notáveis a rutina e derivados de quercetina. Durante o processamento térmico os flavonoides estão presentes e são estáveis, aumentando sua concentração devido a ruptura de tecidos vegetais. A rutina está entre um dos flavonoides majoritários, muitas vezes com teores que aumentam em molhos industriais devido ao calor (Alves, 2009).

2.6.3 DPPH

De acordo com Oliveira (2015), O DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) é um radical livre estável usado em um método para medir a atividade antioxidante desses compostos. Assim, o DPPH não é um nutriente, mas sim um método de teste

laboratorial. É um radical livre estável de cor roxa usado para medir a Capacidade Antioxidante Total de uma amostra. Quando o DPPH entra em contato com uma substância rica em antioxidantes, como um extrato de fruta, este é neutralizado e muda de cor (de roxo para amarelo). Assim, quanto maior a mudança de cor, maior é o poder antioxidante daquele alimento. Frequentemente se usa o valor *IC*50, onde um número menor indica que a amostra é mais potente.

O método DPPH• foi desenvolvido por Blois (1958) para determinar a atividade antioxidante de várias substâncias utilizando um radical livre estável semelhante, α -difenil- β -picrilhidrazila. Esse método foi depois modificado por Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) para determinar o potencial antioxidante de compostos fenólicos e de amostras biológicas, simplificando a interpretação do resultado realizado por Blois (1958) e utilizando o termo concentração eficaz que inibi 50% da concentração inicial do radical DPPH• (CE50) para a interpretação dos resultados do método de DPPH• (Silveira *et al.*, 2018).

Assim, o DPPH é considerado uma das técnicas eficientes utilizadas para detectar a presença de compostos antioxidantes dos alimentos. Quanto maior a capacidade de uma amostra de fruta ou vegetal de transformar a cor roxa do DPPH em amarela, devido à formação de 1,1-difenil-2-picrilhidrazina, maior será seu poder antioxidante (Figura 3) (Oliveira, 2015).

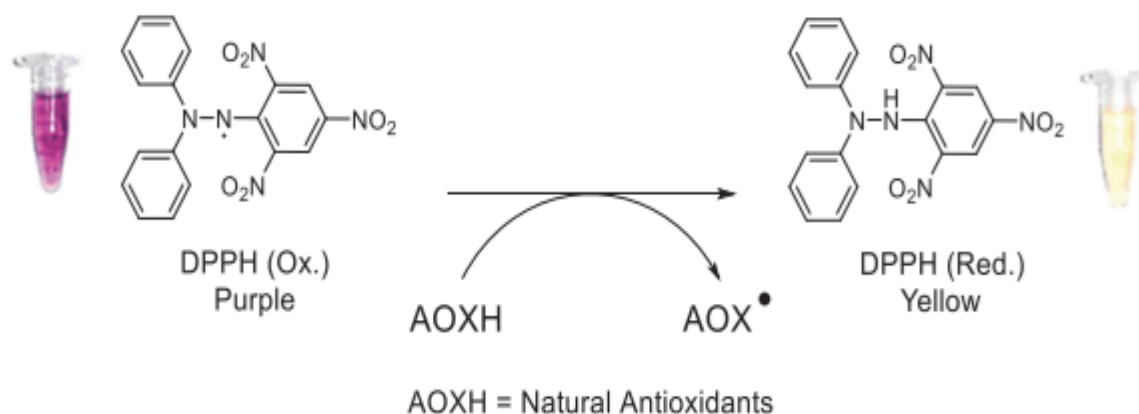


Figura 3 - Reação DPPH com antioxidantes naturais.

Fonte: Arce-Amezquita *et al.* (2019).

A molécula de (DPPH•) é bastante conhecida por caracteriza-se como um radical orgânico livre estável e tem muitas vantagens, tais como aplicabilidade,

simplicidade e viabilidade. Este método é considerado fácil, preciso, rápido, simples e econômico, sendo adequado para a determinação da capacidade antioxidante de substâncias puras e misturas, sendo amplamente usado para extratos de folhas, frutos, alimentos e bebidas (Oliveira, 2015; Sacramento *et al.*, 2023).

O método de DDPH se desenvolve a princípio com a descoloração: o radical DPPH é estável e tem cor roxa (absorbância máxima em ~515-517 nm). Quando um antioxidante é adicionado, ele reage com o DPPH, reduzindo-o e tornando a solução amarela. Na sequência, ocorre o decaimento da absorbância, quando o método mede a diminuição da intensidade da cor roxa através de espectrofotometria. Quanto maior o decaimento, maior é a atividade antioxidante da amostra. O resultado geralmente é expresso como IC50, que é a concentração da amostra necessária para reduzir 50% dos radicais livres DPPH iniciais. Quando ocorre IC50 menor, indica que maior é a capacidade antioxidante (precisa de menos amostra para inibir o radical) (Sacramento *et al.*, 2023).

2.6.4 Vitamina C

Desde que Albert Szent-Györgyi a descobriu e passou a utilizá-la no tratamento do escorbuto, a vitamina C tem despertado o interesse de muitos estudos devido às suas propriedades únicas. A vitamina C (VIC), também conhecida como ácido L-ascórbico, é um micronutriente essencial para a manutenção da saúde geral do corpo humano (Alberts *et al.*, 2025).

Pode ser acumulada em diferentes órgãos e tecidos, como cérebro, fígado, músculos esqueléticos, epitélio da córnea, neutrófilos e células-tronco, por meio de transportadores específicos, podendo melhorar as funções celulares (Granger; Eck, 2018; Njus *et al.*, 2020). É um importante cofator na síntese de colágeno e hormônios, e está envolvida na imunidade, na absorção de ferro e em processos que requerem antioxidantes (Alberts *et al.*, 2025).

Encontrada em duas formas principais, o ácido ascórbico (AA) e o ácido desidroascórbico (DHA), a VIC é um potente antioxidante e cofator de diversas enzimas, estando envolvida em muitas funções biológicas, como o funcionamento normal do sistema imunológico, na síntese de carnitina (responsável pelo transporte de ácidos graxos para as mitocôndrias) e catecolaminas e no metabolismo da tirosina, do ácido fólico e do triptofano, além da síntese de mielina, serotonina, noradrenalina

e alguns hormônios peptídicos (Granger; Eck, 2018; Abdullah; Jamil; Attia, 2024; See; Yeo; Saptoro, 2024).

Outra função essencial da VIC é sua capacidade de atuar como cofator da enzima dopamina-beta-hidroxilase, contribuindo para a conversão de dopamina em norepinefrina, um neurotransmissor essencial para o sistema nervoso (See; Yeo; Saptoro, 2024; Chambial *et al.*, 2013). Atua como modulador em processos de neurotransmissão colinérgica, dopaminérgica, gabaérgica e glutamatérgica, prevenindo a excitotoxicidade induzida pela ativação do receptor NMDA (*N*-metil-D-aspartato), crucial para a plasticidade sináptica e memória (Monacelli *et al.*, 2017).

Também estimula a absorção de ferro no nível intestinal, reduzindo o Fe^{3+} a Fe^{2+} , tornando-o mais estável e contribuindo para o controle da anemia (Alberts *et al.*, 2025). Atua ainda no metabolismo iônico de minerais como cobre e zinco, exerce efeito anti-aterogênico ao reduzir a oxidação das LDLs, diminuindo a resposta inflamatória associada (Monacelli *et al.*, 2017).

A VIC está envolvida também na hidroxilação da prolina, da lisina e da glicina, que estabiliza a estrutura de tripla hélice do colágeno. Promove ainda a conversão do colesterol em ácidos biliares, contribuindo para a homeostase do colesterol e reduzindo o risco de hipercolesterolemia e formação de cálculos biliares (Chambial *et al.*, 2013; See; Yeo; Saptoro, 2024).

Desempenha ainda no organismo as funções de neutralizar a reatividade de radicais livres prevenindo assim o estresse oxidativo e danos celulares (See; Yeo; Saptoro, 2024; Njus *et al.*, 2020), além de promover a regeneração de compostos antioxidantes, sendo um cofator para enzimas presentes no corpo humano (Alberts *et al.*, 2025). Em altas doses, a VIC pode atuar como um pró-oxidante, uma propriedade que está sendo estudada por seu potencial no tratamento do câncer (Pawlowska; Szczepanska; Blasiak, 2019; Mešćić, Gazivoda; Raić-Malić, 2019).

Entretanto, o organismo não consegue sintetizá-la devido a mutações no gene da L-gulonolactona oxidase (GLO), responsável por sua síntese a partir de L-gulono-1,4-lactonas. Evidências epidemiológicas indicam uma prevalência de 5% para deficiência de vitamina C e 13% para níveis subótimos, mesmo em países industrializados (Granger; Eck, 2018), mostrando que a deficiência de vitamina C está se tornando cada vez mais comum em todo o mundo, mesmo em países desenvolvidos (Alberts *et al.*, 2025).

Desta forma, é importante manter o consumo adequado visando a melhoria da

saúde e o funcionamento ideal dos sistemas imunológico, cardiovascular e neurocognitivo (Chisnall; Macknight, 2017; Alberts *et al.*, 2025). Para tanto, sua ingestão está associada a alimentos ricos em ácido ascórbico, como tomates, vegetais folhosos verdes, frutas vermelhas e frutas cítricas (Alberts *et al.*, 2025).

2.6.5 Selênio (Se)

O Se é um bioelemento essencial necessário para o funcionamento de todos os organismos e está presente no organismo humano em quantidades mínimas. Os níveis séricos de selênio podem variar entre as populações, dependendo de diversos fatores, incluindo, mas não se limitando à concentração de selênio nos alimentos (Kieliszek, 2019). A ingestão diária recomendada de selênio para adultos é de 55 a 70 µg, sendo que 400 µg é uma concentração tóxica (Tangjaidee *et al.*, 2023).

De acordo com as sociedades de nutrição alemã, austríaca e suíça, editoras conjuntas dos 'valores de referência para ingestão de nutrientes', os valores de referência para a ingestão de selênio, através da saturação da selenoproteína P (SePP) no plasma, para pessoas de regiões com deficiência de selênio (China), a saturação da SePP foi alcançada com uma ingestão diária de 49 µg de selênio. Ao usar os pesos corporais de referência nos quais se baseiam os valores de referência para a ingestão de nutrientes na Alemanha (D), Áustria (A) e Suíça (CH) (DA-CH), o valor estimado para a ingestão de selênio é de 70 µg/dia para homens e 60 µg/dia para mulheres. Para crianças e adolescentes o valor estimado é extrapolado usando o valor estimado para adultos em relação ao peso corporal. Para bebês de 0 a menos de 4 meses de idade, o valor estimado de 10 µg/dia foi derivado com base na ingestão de selênio via leite materno. Para crianças de 4 a menos de 12 meses, utilizou-se esse valor estimado e, levando em consideração as diferenças de peso corporal, chegou-se a um valor estimado de 15 µg/dia. Para mulheres em período de amamentação, em comparação com mulheres que não amamentam, indicou-se um valor de referência mais elevado, de 75 µg/dia, devido à liberação de selênio com o leite materno. A necessidade adicional de selênio para gestantes é insignificante, não sendo indicado um aumento no valor de referência (Kipp *et al.*, 2015).

A quantidade desse elemento presente na natureza e no organismo humano é muito diversa, dependendo da região geográfica e da dieta (Kieliszek, 2019). A deficiência de selênio tem sido observada em algumas partes do mundo, incluindo a

China (cerca de 72% da área total) e Nova Zelândia (Tangjaidee *et al.*, 2023). A concentração total de Se nos solos em todo o mundo varia de 0,01 a 2,0 mg kg⁻¹. Solos com mais de 2 mg kg⁻¹ de Se são designados como seleníferos e foram relatados na China, Índia, EUA e Irlanda (Shahid *et al.*, 2018; Schiavon *et al.*, 2020).

Segundo Tangjaidee *et al.* (2023) existem algumas áreas no mundo com altos níveis de selênio no solo, como a província de Enshi, na China, onde o nível de selênio no solo pode chegar a 11,4 mg Se/kg. A ingestão a longo prazo de alimentos produzidos nessas áreas com alto teor de selênio pode levar a sintomas de selenotoxicidade e anormalidades de crescimento. Entretanto, Gupta e Gupta (2017) afirmam que os solos na Europa são bastante pobres em Se, especialmente na Alemanha, Finlândia, Escócia e Grécia.

É um micronutriente que pode ser obtido em alimentos de origem vegetal e animal. A selenometionina pode ser obtida em alimentos de origem vegetal e animal, enquanto a selenocisteína está presente somente em alimentos de origem animal. As principais fontes de selênio na dieta incluem castanha-do-pará, frutos do mar (atum, sardinha, camarão), carnes (frango, peru, fígado), ovos, cereais integrais (pão integral, gérmen de trigo, aveia e arroz) e laticínios, como queijos (Nóbrega, 2015). Segundo dados da EMBRAPA, a castanha-do-pará é a fonte mais rica, com teores que podem atingir de 1.477 a 1.917 µg por porção/100g de amêndoa, variando conforme a região de coleta. Uma única castanha pode conter entre 100 e 200 µg de selênio, dependendo do tamanho e origem (Silva, 2016).

A absorção de selênio, principalmente selenometionina e selenocisteína, proveniente dos alimentos é de cerca de 55 a 70% (Kieliszek.; Bano, 2022). A selenometionina é absorvida no intestino delgado, principalmente no duodeno, da mesma forma que a metionina, e não é afetada pelos níveis de selênio no organismo. Ela é transportada pelo corpo na albumina plasmática e na hemoglobina dos glóbulos vermelhos (Assunção *et al.*, 2014). A selenometionina proveniente dos alimentos entra no pool de metionina no corpo e compartilha o mesmo destino até ser catabolizada. A selenocisteína livre resultante é posteriormente decomposta para liberar uma forma reduzida chamada seleneto (Bodnar *et al.*, 2012). Sabe-se menos sobre a absorção de outras formas de selênio, embora se acredite que tanto a selenocisteína quanto o selenato sejam bem absorvidos. O selenato, a selenocisteína e o selenito ingeridos são metabolizados diretamente em seleneto. O seleneto pode ser metabolizado em selenofosfato, o precursor da selenocisteína nas selenoproteínas, ou convertido em

metabólitos excretáveis. O excesso de selênio ingerido na forma de selenato, selenito ou selenocisteína é excretado na urina. Os rins são responsáveis por 50 a 60% da excreção total de selênio. Há também alguma excreção fecal de selênio não absorvido e perdas através da pele, do cabelo e, em casos de ingestão elevada, pelo ar expirado (Fairweather-Tait, 2011; Kieliszek.; Bano, 2022).

A selenocisteína faz parte do 21º aminoácido presente no código genético humano. Através dela são produzidas as selenoproteínas, um composto do Se, que participa nos processos oxidativos, inflamatórios e na melhora da respiração celular (Hariharan *et al.*, 2020; Al-Mubarak *et al.*, 2021; Tsuji *et al.*, 2021). A selenoproteína P, principal transportadora de selênio, é reconhecida como a principal proteína transportadora de selênio no plasma, sendo responsável por distribuir esse mineral do fígado para os tecidos periféricos, como o cérebro e os testículos (Solovyev *et al.*, 2018).

O Se está distribuído por todo o organismo: sangue, músculo esquelético, glândula tireoide, cérebro, fígado e rins (Bodnar *et al.*, 2012). É armazenado principalmente no fígado, rins e glândula tireoide (Navarro-Alarcon *et al.*, 2008). Também está envolvido na síntese de ubiquinona (ou coenzima Q10), a qual participa da produção de adenosina trifosfato (ATP), estando em concentrações maiores em sítios onde existe elevada demanda energética, como cérebro, coração, rins e fígado (Viaro *et al.*, 2001).

O envelhecimento resulta de um desequilíbrio entre as defesas antioxidantes do organismo e os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs). O Se é considerado um oligoelemento nutricionalmente significativo, que pode reparar alterações fisiológicas graduais e espontâneas causadas pelo estresse oxidativo, potencialmente prevenindo doenças e promovendo um envelhecimento saudável. O Se fortalece o sistema imunológico, o equilíbrio metabólico e o sistema de defesa antioxidante. Níveis baixos de Se podem reduzir a expectativa de vida, acelerando o envelhecimento e aumentando a suscetibilidade a doenças, incluindo câncer e problemas no sistema imunológico (Bjorklund *et al.*, 2022).

Descrito como um elemento não metálico, com coloração cinza metálica ou até mesmo preta, devido aos seus efeitos antioxidantes benéficos, o Se tem sido pesquisado e estudado pela sua toxicidade e por suas aplicações na prevenção e promoção da saúde (Hatfield *et al.*, 2014; Jablonska; Vinceti, 2015).

Por estar envolvido no fortalecimento da defesa antioxidante, das funções

imunológicas e da homeostase metabólica, tem sido utilizado como suplemento alimentar, para remodelar alterações bioquímicas e fisiológicas graduais e espontâneas, o que pode resultar na prevenção de doenças e no envelhecimento saudável (Malavolta; Mocchegiani, 2018).

Há evidências de que a deficiência de Se pode ter consequências adversas para a suscetibilidade a doenças e a manutenção de uma saúde ideal (Facchinetti *et al.*, 2022). A ingestão inadequada de Se pode se tornar um problema, através do aumento da incidência de câncer e mutações virais patogênicas devido à produção excessiva de espécies reativas ao oxigênio (EROs), além da deterioração da função cognitiva, aumento do risco de doença coronariana, redução da fertilidade, respostas imunológicas atenuadas e comprometimento da função tireoidiana (Johnson; Fordyce; Rayman, 2010).

Foram demonstradas a atividade anticancerígena de algumas formas de Se no cólon, pulmão, pele e em outros tipos de câncer (Dobrzyńska *et al.*, 2023), prevenindo ou retardando o desenvolvimento desta doença, além de combater os radicais livres e atuando na tireoide (Silva *et al.*, 2024).

O suprimento insuficiente de selênio e a falta de função das selenoproteínas têm sido associados a múltiplos distúrbios cerebrais, incluindo doenças neurodegenerativas (Zhang *et al.*, 2019). Por outro lado, selênio tem sido sugerido como um potencial agente terapêutico no tratamento da esclerose múltipla (Toledo *et al.*, 2020), acidente vascular cerebral (Alim *et al.*, 2019), além de benefícios no tratamento nutricional de pacientes com doença de Alzheimer, devido ao seu envolvimento em mecanismos antioxidantes (Cordeiro, 2021). O papel protetor cerebral do selênio é estudado também contra o impacto negativo do estresse agudo e crônico, demonstrando sua capacidade antioxidante de atenuar as repercussões neurológicas do estresse e da exposição exógena a glicocorticoides, uma classe de hormônios do estresse, que podem ter efeitos neurológicos deletérios, incluindo comprometimento da memória e distúrbios emocionais (Torres, Alfulaij, Berry, 2021).

A deficiência franca de selênio resulta em uma condição chamada Doença de Keshan, que ocorre em áreas da China com baixos níveis de selênio e que responde à suplementação com selenito de sódio. A doença refere-se a uma insuficiência cardíaca crônica ou aguda, caracterizada pelo aumento do tamanho do coração (cardiomegalia) e disfunção ventricular, insuficiência cardíaca, arritmias e morte prematura. Está associada à baixa ingestão de selênio, com ingestão de 20 µg/dia ou

menos, bem como baixos níveis sanguíneos e capilares, afetando principalmente crianças e mulheres em idade fértil (Kieliszek, 2019).

A doença de Kashin-Beck também ocorre em áreas com deficiência de selênio. Caracteriza-se como osteoartropatia degenerativa crônica que afeta a cartilagem articular e os discos de crescimento (epífises) em crianças e adolescentes, levando a uma grave degeneração (Liu *et al.*, 2024).

A deficiência de selênio tem ainda relação com o cretinismo (hipotireoidismo congênito grave), atuando como um fator complicador ou co-fator na patogênese do cretinismo endêmico, especialmente quando ocorre em conjunto com a deficiência de iodo. Embora a causa primária do cretinismo seja a deficiência de iodo na dieta durante a gestação, a falta de selênio potencializa o dano tireoidiano (Krause, 2017).

Assim, o Se é descrito como um micronutriente essencial para o metabolismo humano, exercendo atividade biológica por meio da incorporação em proteínas que formam as selenoproteínas, desempenhando atividade antioxidante capaz de reduzir peróxidos no corpo humano e protegendo contra danos celulares (Facchinetti *et al.*, 2022).

2.7 TÉCNICA DE ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

As plantas necessitam de elementos inorgânicos para o seu funcionamento e para completar o seu ciclo de vida. A avaliação desses elementos promove uma melhor compreensão do seu papel e demonstra o estado nutricional da planta. Os estudos de importância fisiológicos e agrônômicos sobre elementos em hortaliças têm aumentado nos últimos anos (Margui, Queralt e Almeida, 2022).

Dentre as diversas técnicas analíticas para triagem e monitoramento de constituintes inorgânicos em plantas, a de fluorescência de raios X (XRF) merece destaque devido à sua capacidade multielementar e forma acessível quanto ao tratamento da amostra para a análise (Margui, Queralt e Hidalgo, 2009). O caráter verdadeiramente multielementar, a velocidade, a economia, a facilidade de automação, a portabilidade e a possibilidade de analisar diretamente amostras sólidas (sem digestão ácida prévia), são as características mais importantes que a tornaram uma ferramenta analítica consolidada para o controle de rotina em diversos cenários (Margui, Queralt e Almeida, 2022).

A XRF é uma técnica analítica atômica estabelecida para a análise química

qualitativa e quantitativa de amostras com diversas matrizes em ampla gama de elementos (que pode abranger de B a U, em ordem de número atômico). A XRF oferece resultados analíticos rápidos, não destrutivos e multielementares com sensibilidade na faixa de 10^{-8} g (dependendo do elemento de interesse) e é perfeitamente adequada para a maioria dos estudos que envolvem pesquisas (Margui, Queralt e Almeida, 2022).

Além das conhecidas aplicações industriais clássicas, a XRF pode ser empregada com sucesso em análises diretas de campo para pesquisa agrônômica, análise *on-line* de material particulado atmosférico, aquisição remota de dados espectrais de XRF e ainda como suporte analítico em laboratórios de pesquisa (Beckhoff *et al.*, 2006).

Tradicionalmente, a instrumentação de XRF é dividida em dois ramos principais: a fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda (WDXRF) e a fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF). Basicamente, a principal diferença entre elas reside na forma como discriminam as energias dos fótons de raios X provenientes da amostra. O primeiro sistema utiliza um cristal, resultando em um sistema de alta resolução, enquanto o segundo se baseia em um detector semicondutor (Margui, Queralt e Hidalgo, 2009). Entre as características da XRF estão o menor preço, a portabilidade e a capacidade de análise multielementar simultânea da EDXRF, que colocam o sistema de dispersão de energia em vantagem significativa em relação à WDXRF (Margui, Queralt e Almeida, 2022).

A análise qualitativa é uma característica inigualável da EDXRF devido à sua capacidade multielementar e à possibilidade de realizar análises de sólidos com tratamento mínimo da amostra. Os sistemas portáteis são os mais indicados (Leroux *et al.*, 2018; Peng *et al.*, 2020).

As amostras intermediárias e espessas (pastilhas, pó e esferas fundidas, por ex.) requerem estratégias que levem em consideração os efeitos de autoabsorção e de matriz. Atualmente, a maioria dos estudos por XRF está relacionada à análise quantitativa. A estratégia de quantificação depende do tipo de amostra, analito, preparação da amostra e até mesmo da instrumentação XRF disponível. Do ponto de vista da análise por XRF, as amostras são agrupadas de acordo com sua espessura (filme fino, intermediária ou infinita) (Santos, 2020).

Algumas formas de preparação de amostras têm se mostrado adequadas para a análise de amostras por XRF. Uma das abordagens mais comuns para o tratamento

de amostras vegetais por EDXRF é a preparação de pastilhas prensadas (peso: 0,1-4 g, diâmetro: 13-40 mm) a partir do material em pó (Leroux *et al.*, 2018). Para as amostras sólidas, as pastilhas prensadas estão entre as que apresentam melhor homogeneidade. A pastilha prensada é uma estratégia de preparação de amostras por XRF tradicional e bem estabelecida, na qual o resultado analítico final é um dos melhores em termos de repetibilidade (Margui *et al.*, 2016). Devido à capacidade de ligação da celulose, a adição de um aglutinante geralmente não é necessária para a obtenção de pastilhas estáveis (Leroux *et al.*, 2018; Margui, Queralt e Almeida, 2022).

Entre os tipos de amostras de vegetação analisadas por técnicas de fluorescência de raios X, estão as folhas vegetais, e entre os elementos que podem ser analisados estão Se, S, Na, Ca, K, Co, Cu e Mn. A análise é realizada de forma direta e o sistema utilizado é o XRF μ -EDXRF (30 μ m, policapilar) (Margui, Queralt e Almeida, 2022).

3 REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, M.; JAMIL, R.T.; ATTIA, F.N. **Vitamin C (Ascorbic Acid)**. In: StatPearls; StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, USA, 2024.
- ALBERTS, A.; MOLDOVEANU, E.T.; NICULESCU, A.G.; GRUMEZESCU, A.M. Vitamin C: a comprehensive review of its role in health, disease prevention, and therapeutic potential. **Molecules**. v.30, n. 3, p.748-780, 2025.
- ALENCAR, B. B. M.; MORAIS, Y. J. Nutracêuticos e seus benefícios para a saúde do utente: revisão integrativa da literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e484101220396, 2021.
- AL-MUBARAK, A. A.; VAN DER MEER, P.; BOMER, N. Selênio, selenoproteínas e insuficiência cardíaca: conhecimento atual e perspectivas futuras. **Relatórios Atuais Sobre Insuficiência Cardíaca**, v. 18, p. 122-131, 2021.
- ALVES, A. B. **Compostos antioxidantes em polpa de tomate: efeito do processamento e da estocagem**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2009. 145p.
- ALVES, K. P. S. Enfrentamento das carências de micronutrientes no Brasil: reflexões sobre as estratégias no âmbito da Atenção Básica. In.: SILVA, A. C. F., MOTTA, A. L. B., CASEMIRO, J. P. eds. **Alimentação e nutrição na atenção básica: reflexões cotidianas e contribuições para prática do cuidado**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2021, p. 149-170.
- ARCE-AMEZQUITA, P. M. *et al.* Nutritional value of conventional, wild and organically produced fruits and vegetables available in Baja California Sur markets. **Terra Latinoamericana**, v.37, p. 401-406. 2019.
- ASSUNÇÃO, L. *et al.* Speciation of selenium in *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes* mushrooms. **Journal of Biotechnology Letters**, v. 5, p. 079-086, 2014.
- BAGCHI, D.; PREUSS, H. G.; SWAROOP, A. **Nutraceuticals and functional foods in human health and disease prevention**. Ed. CRC Press, 2021. 728p.
- BARBOSA, K. B. F.; COSTA, N. M. B.; ALFENAS, R. de C. G.; DE PAULA, S. O.; MINIM, V. P. R.; BRESSAN, J. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 629-643, jul./ago. 2010.

BAYRAK, C.; UC, E.M.; REZAEI, M.; GULCIN, I.; MENZEK, A. Synthesis and antioxidant activities of benzylic bromophenols inclusive of natural products. **Turk J Chem.**, v. 46, n. 5, p.1405–1416. 2022.

BAZANI, E. J. O. **Determinação do teor de fenólicos e da atividade antioxidante de tomate e de morango utilizando método alternativo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional. Viçosa, MG, 2019. 74f.

BECKHOFF, B.; KANNGIEßER, B.; LANGHOFF, N.; WEDELL, R.; WOLFF, H. (Eds.). **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 2006.

BJORKLUND, G. *et al.* Selenium: an antioxidant with a critical role in anti-aging. **Molecules**. v. 27, n. 19, 6613, 2022.

BLOIS, M. S. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. **Nature**, v. 181, n. 4617, p. 1199-1200, 1958.

BODNAR, M.; KONIECZKA, P.; NAMIESNIK, J. The properties, functions, and use of selenium compounds in living organisms. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 30, n. 3, p. 225-252, 2012.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **Eur. J. Soil Sci.** v.69, n.1, p.172-180, 2017.

CAVALCANTE, M. de A. **Estudo do potencial antimicrobiano e antioxidante de espécies vegetais amazônicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

CAVALCANTE, M.A.; BORGES, W.L.; SOUZA, T. M. Compostos fenólicos a partir de vegetais: uma revisão sobre os métodos de quantificação e avaliação das propriedades antioxidante e antimicrobiana. **Peer Review**, v. 6, n. 10, 2024.

CHAMBIAL, S.; DWIVEDI, S.; SHUKLA, K.K.; JOHN, P.J.; SHARMA, P. Vitamin C in Disease Prevention and Cure: An Overview. **Indian J. Clin. Biochem.** v.28, p.314-328. 2013.

CHAUDHARY, P.; JANMEDA, P.; DOCEA, A. O.; YESKALIYEVA, B.; RAZIS, A.F.A.; MODU, B.; CALINA, D.; SHARIFI-RAD, J. Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases, **Frontiers in Chemistry**, v. 11, 2023.

CHENG, H.; CHANG, S.; SHI, X.; CHEN, Y.; CONG, X.; CHENG, S.; LI, L. Molecular Mechanisms of the Effects of Sodium Selenite on the Growth, Nutritional Quality, and Species of Organic Selenium in Dandelions. **Horticulturae**, v. 10, n. 209, 2024.

CHISNALL, M.; MACKNIGHT, R. Importance of Vitamin C in Human Health and Disease. In: **Ascorbic Acid in Plant Growth, Development and Stress Tolerance**. HOSSAIN, M.A., MUNNE-BOSCH, S., BURRITT, D.J., DIAZ-VIVANCOS, P., FUJITA, M., LORENCE, A. Eds. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, p. 491-501. 2017.

CHONG, Y. J.; LAI, O. M.; LONG, K. Nutraceuticals: Innovations in encapsulation and delivery. In: **Advances in Food and Nutrition Research**. Academic Press, v. 89, p. 199-231. 2019.

CHONG, Y. J.; LAI, O. M.; LONG, K. Nutraceuticals: Innovations in encapsulation and delivery. In: **Advances in Food and Nutrition Research**, Academic Press, v. 89, p. 199-231, 2019.

COSTA JÚNIOR, M. J. N.; GOMES, J. M. A.; CARVALHO, J.N.F.; BEZERRA, F.F.N. Panorama da agricultura orgânica: evidências a partir dos dados do IFOAM e do Censo Agropecuário 2017. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v.16, n.11, p. 27944-27963, 2023.

DEL RÉ, P.V.; JORGE, N. Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. **Rev Bras Plantas Med.**, v.14, n.2, p:389-99, 2012.

DEL RÍO CELESTINO, M.; FONT, R. The Health Benefits of Fruits and Vegetables. **Foods**, v.9, n.3, 369, 2020.

DOBRYŃSKA, M., DRZYMAŁA-CZYŻ, S., WOŹNIAK, D., DRZYMAŁA, S., PRZYSŁAWSKI, J. Natural Sources of Selenium as Functional Food Products for Chemoprevention. **Foods**, v.12, n.6, p.1247, 2023.

EDO, G. I. A review on the composition, extraction and applications of phenolic compounds. **Ecological Frontiers**, v. 45, n. 1, p.7-23, 2025.

El-SAADONY, M.T. *et al.* The use of biological selenium nanoparticles to suppress *Triticum aestivum* L. crown and root rot diseases induced by *Fusarium* species and improve yield under drought and heat stress. **Saudi J. Biol. Sci.** v.28, p. 4461-4471, 2021.

FACCHINETTI, V. *et al.* Selênio, um elemento essencial à vida humana, **Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.** v.51, n.2, p.589-624, 2022.

FACCHINETTI, V. *et al.* Selênio, um elemento essencial à vida humana, **Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.** v.51, n.2, p.589-624, 2022.

FAIRWEATHER-TAIT, S. J. *et al.* Selenium in Human Health and Disease. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 14, n. 7, p. 1337-1383, 2011.

FERREIRA, T. S.; HELDWEIN, A. B.; SANTOS, C. O.; SOMAVILLA, J. C.; SAUTTER, C. K. Substâncias fenólicas, flavonoides e capacidade antioxidante em erva-de-são-paulo sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.18, n.2, p.588–596, 2016.

FREITAS, P. G. N.; HIGUTI, A. R. O.; MAGRO, F. O. Importância nutricional das hortaliças. In: CARDOSO, A. I. I.; MAGRO, F. O. (Edit.). **Hortas: sob um olhar que você nunca viu**. São Paulo: Editora UNESP, p. 9-19. 2021.

GARZA-GARCIA, J. J.; HERNANDEZ-DIAZ, J. A.; ZAMUDIO-OJEDA, A.; LEON-MORALES, J. M.; GUERRERO-GUZMAN, A.; SANCHEZ-CHIPRES, D. R.; LOPEZ-VELAZQUEZ, J. C.; GARCIA-MORALES, S. The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology. **Biol. Trace Elem. Res.** v. 200, p. 2528–2548, 2022.

GRANGER, M.; ECK, P. Dietary Vitamin C in Human Health. **Advances in Food and Nutrition Research**. v. 83, p. 281-310, 2018.

GUERRA, L.D.S. *et al.* Alimentação: um direito humano em disputa - focos temáticos para compreensão e atuação em segurança alimentar e nutricional. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 24, n. 9, p. 3369-3394. 2019.

GULCIN, I. Antioxidants: a comprehensive review. **Archives of Toxicology**, n. 99, p.1893-1997, 2025.

GUPTA, M.; GUPTA, S. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. **Front. Plant Sci.** 7, 2074, 2017.

HARIHARAN, S.; DHARMARAJ, S. Selênio e selenoproteínas: seu papel na regulação da inflamação. **Inflamofarmacologia**, v. 28, p. 667-695, 2020.

HATFIELD, D. L. *et al.* Selenium and selenocysteine: roles in cancer, health, and development. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 39, n. 3, p. 112-120, 2014.

HEIM, K.E.; TAGLIAFERRO, A.R.; BOBILYA, D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.13, p.572-584, 2002.

JABLONSKA, E.; VINCETI, M. Selenium and human health: witnessing a Copernican revolution. **Journal of Environmental Science & Health, Part C**, v. 33, n. 3, p. 328-368, 2015.

JOHNSON, C.C.; FORDYCE, F.M.; RAYMAN, M.P. Symposium on 'Geographical and Geological Influences on Nutrition' Factors Controlling the Distribution of Selenium in the Environment and Their Impact on Health and Nutrition: Conference on 'Overand Undernutrition: Challenges and Approaches'. **Proc. Nutr. Soc.** v.69, p.119–132. 2010.

KIELISZEK, M. Selenium–Fascinating Microelement, Properties and Sources in Food. **Molecules**, 24, 1298, 2019.

KIELISZEK, M.; BANO, I. Selenium as an important factor in various disease states - a review. **EXCLI Journal**, v.21, p.948-966, 2022.

KIPP, A.P.; STROHM, D.; BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; SCHOMBURG, L.; BECHTHOLD, A.; LESCHIK-BONNET, E.; HESEKER, H; German Nutrition Society (DGE). Revised reference values for selenium intake. **J Trace Elem Med Biol.** n.32, p.195-199, 2015.

KRAUSE. **Krause Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**. 14. ed., 2017, 4247p.

LAL, B.; BHANDARI, S.; UPADHYAY, A.; SINGH, P.; SINGH, V.P. Lettuce: A dive into its nutritional value and economic significance. **AGBIR**, v. 40, n. 2, mar. 2024.

LEROUX, M. *et al.* Analysis of archaeological materials by portable EDXRF: Advantages and limitations. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 20, p. 710-718, 2018.

LIU, L.; LUO, P.; WEN, P.; XU, P. Effects of selenium and iodine on Kashin-Beck disease: an updated review. **Frontiers in Nutrition**, v.11, p.1402559, 2024.

LOUREIRO, M. P. *et al.* Biofortificação de alimentos: problema ou solução?

Segurança Alimentar e Nutricional, v. 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

LOURENÇO, A. V.; SCHNEIDER, S.; GAZOLLA, M. A agricultura orgânica no Brasil: um perfil a partir do censo agropecuário de 2006. **Extensão Rural**, v. 24, n. 1, p. 42-61, 2017.

LYKKESLELDT, J. Malondialdehyde as biomarker of oxidative damage to lipids caused by smoking. **Clin Chim Acta**. v. 380, n. 1-2, p.50-58. 2007.

MALAVOLTA, M., MOCCHEGIANI, E. **Trace elements and minerals in health and longevity**, v. 8 (Cham: Springer International Publishing). 2018.

MARGUÍ, E.; QUERALT, I.; ALMEIDA, E. X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis: Basic principles, instrumentation, applications and recent trends. **Chemosphere**, v. 303, 135006, September, 2022.

MARGUÍ, E.; QUERALT, I.; HIDALGO, M. Application of X-ray fluorescence spectrometry to determination and quantitation of metals in vegetal material. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, p. 362-372, 2009.

MENDONÇA, J.D.S. *et al.* Natural Antioxidant Evaluation: A Review of Detection Methods. **Molecules**, v. 27, n. 11, 3563. 2022.

MEŠČIĆ MACAN A, GAZIVODA KRALJEVIĆ T, RAIĆ-MALIĆ S. Therapeutic Perspective of Vitamin C and Its Derivatives. **Antioxidants**. v.8, n.8, p.247, 2019.

MIKSANEK, J. R.; ADARKWAH, C.; TUDA, M. Low concentrations of selenium nanoparticles enhance the performance of a generalista parasitoid and its host, with no net effect on host suppression. **Pest Manag. Sci.** v. 80, p. 1812-1820, 2024.

MONACELLI, F. *et al.* Vitamin C, aging and Alzheimer's disease. **Nutrients**, v. 9, n. 670, p. 1-26, 2017.

MOOZ, E.D.; SILVA, M.V. Organic food in the national and international scenarios. **Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, v. 39, n. 1, p. 99-112.2014.

MORAES, G.V. *et al.* Potencial antioxidante dos flavonoides e aplicações terapêuticas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, e238111436225, 2022.

MORITZ, B.; TRAMONTE, V. L. C. Biodisponibilidade do licopeno. **Revista de Nutrição**, v.19, n.2, p.265–273. 2006.

MOSCA, S.S.; SANCHES, R.A.; COMUNE, A.C. A importância dos antioxidantes na neutralização dos radicais livres: uma revisão. **Revista Saúde em Foco**, n. 9, p. 563-574, 2017.

NACHTIGALL, A. M.; FONSECA, F. S.; MACHADO, M. R. G.; VENDRUSCO, C. T.; GULARTE, M. A. **Desenvolvimento de tomate desidratado em conserva**. In: **Congresso brasileiro de ciências e tecnologia de alimentos**, 17. Resumos ... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2000, v. 3, p. 11.88.

NAVARRO-ALARCON, M.; CABRERA-VIQUE, C. Selenium in food and the human body: A review. **Science of the Total Environment**, v. 400, n. 1-3, p. 115-141, 2008.

NJUS, D.; KELLEY, P. M.; TU, Y. J.; SCHLEGEL, H. B. Ascorbic acid: the chemistry underlying its antioxidant properties. **Free Radic. Biol. Med.** v.159, p.37-43, 2020.

NÓBREGA, P. T. **Selênio e a importância para o organismo humano – benefícios e controvérsias**. Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2015.

OLIVEIRA, G.L.S. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH•: estudo de revisão. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Campinas, v.17, n.1, p.36-44, 2015.

OLIVEIRA, O.M.T.; NUNES, J.L.S.; OLIVEIRA, R.S.F.; OLIVEIRA, M.E.S.; MENDONÇA, L.P. A influência da alimentação no envelhecimento e nas desordens estéticas: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e223101220333, 2021.

PAWLOWSKA, E.; SZCZEPANSKA, J.; BLASIAK, J. Pro- and Antioxidant Effects of Vitamin C in Cancer in correspondence to Its Dietary and Pharmacological Concentrations. **Oxidative Med. Cell. Longev.** 7286737, 2019.

PENG, Z. *et al.* Analysis of the chemical composition of ancient glass beads from the Silk Road by portable energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectrometry. **Microchemical Journal**, v. 157, p. 104911, 2020.

PEREIRA, D. M.; VALENTÃO, P.; PEREIRA, J. A.; ANDRADE, P. B.; Phenolics: From Chemistry to Biology, **Molecules**, v.14, p.2202-2211, 2009.

PEREIRA, D.; SANTOS, R. F. P. dos. Os agrotóxicos e os humanos: doenças e

contaminação. **Estudos Transdisciplinares em tempos de Terra em Transe: ambiente, sociedade e pandemia**, São Paulo: Annablume, 2020.

PREVEDELLO, M.T.; COMACHIO, G. Antioxidantes e sua relação com os radicais livres, e doenças crônicas não transmissíveis: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.6, p. 55244-55285, 2021.

RAUPP, D. S. *et al.* Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **Acta Amazonica**. Manaus, vol.39, n. 2, 2009. p. 415-421.

REILE, G. C.; RODRÍGUEZ, S. M.; FERNANDES, D. D. S.; GOMES, A. A.; DINIZ, P. H. G.; DI ANÍBAL, C. V. Qualitative and quantitative analysis based on digital images to determine the adulteration of ketchup samples with Sudan I dye. **Food Chemistry**, v. 328, p. 127101, 2020.

RUMIATO, A. C.; MONTEIRO, I. Contaminants in food and nutritional guidance: theoretical reflection. **Revista de Salud Pública**, Bogotá, DC, v. 19, n. 4. p. 574-577, 2017.

SACRAMENTO, V.M.; VELOSO, P.H.F.; ROYO, V.A. *et al.* **Métodos para determinação de capacidade antioxidante**. Ed. Atena: Ponta Grossa, PR, 2023. 76p.

SANTOS, A. P. *et al.* Qualidade de plantas de alface produzidas sob sistema agroecológico e convencional. **Agricultura Em Foco: Tópicos em Manejo, Fertilidade do Solo e Impactos Ambientais**, v. 3, cap. 9, p. 106-124, Guarujá, SP: Editora Científica Digital, 2020.

SANTOS, F. R. **Uso de fluorescência de raios X e análise multivariada na determinação de atributos de fertilidade de solos em uma topossequência derivada do basalto**. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Física, 2020, 172p.

SCHIAVON, M.; NARDI, S.; DALLA VECCHIA, F.; ERTANI, A. Selenium biofortification in the 21st century: Status and challenges for healthy human nutrition. **Plant Soil**, 453, p.245-270, 2020.

SEE, X.Z.; YEO, W.S.; SAPTORO, A. A comprehensive review and recent advances of vitamin C: Overview, functions, sources, applications, market survey and processes.

Chem. Eng. Res. Des., v. 206, p.108-129, 2024.

SHAHID, M. N.; NIAZI, N. K.; KHALID, S.; MURTAZA, B.; BIBI, I.; RASHID, M.I. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. **Environ. Pollut.** 234, p.915–934, 2018.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Nutraceuticals and functional foods: An overview. **Journal of Food Bioactives**, v.1, n. 1, p.2-14, 2015.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820-897, 2015.

SILVA, E. B. *et al.* Capacidade antioxidante de frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal, PB, v. 10, n. 5 (Especial), p. 93-98, dez., 2015.

SILVA, F.P. *et al.* Biofortificação de lítio, selênio e zinco em basidiomicetos: uma nova opção de suplementação. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, Umuarama, v. 28, n. 3, p. 713–736, 2024.

SILVA, M.L.C.; COSTA, R.S.; SANTANA, A.S.; KOBLITZ, M.G.B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, jul./set. 2010.

SILVA, R. **Quantidade de selênio nas castanhas-do-brasil varia de acordo com região**. EMBRAPA Rondônia. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/11010983/quantidade-de-selenio-nas-castanhas-do-brasil-varia-de-acordo-com-regiao> Acesso em: 14 nov. 2025.

SILVEIRA, A.C.; KASSUIA, Y.S.; DOMAHOVSKI, R.C.; LAZZAROTTO, M. **Método de DPPH adaptado: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos da erva-mate de forma rápida e reprodutível**. Comunicado Técnico 421, EMBRAPA Colombo, PR, Dezembro, 2018. 11p.

SOLOVYEV, N. D. *et al.* Selenium, selenoprotein P, and Alzheimer's disease: Is there a link? **Free Radical Biology and Medicine**, v. 1, p. 1-15, 2018.

STRINGHETA, P. C.; MELONI, P. L.; **Tomate Seco em Conserva e Shitake Desidratado**. 1. ed. Viçosa-MG: Centro de Produções Técnicas- CPT, 1999. 68p. (Série agroindústria, Manual n.201).

TANGJAIDEE, P.; SWEDLUND, P.; XIANG, J.; YIN, H.; QUEK, S.Y. Selenium-Enriched Plant Foods: Selenium Accumulation, Speciation, and Health Functionality. **Front. Nutr.** 2023, 9, 962312.

TOLEDO, J.; FRAGA-SILVA, T.F.C.; BORIM, P.A.; OLIVEIRA, L.R.C.; OLIVEIRA, E.D.S.; PERICO, L.L. Organic Selenium Reaches the Central Nervous System and Downmodulates Local Inflammation: a Complementary Therapy for Multiple Sclerosis? **Front. Immunol.**, v.11, p. 571844, 2020.

TORRES, D.J.; ALFULAIJ, N.; BERRY, M.J. Stress and the brain: an emerging role for selenium. **Frontiers in Neuroscience**. v.15, p.666601, 2021.

TSUJI, P. A. *et al.* Historical roles of selenium and selenoproteins in health and development: The good, the bad and the ugly. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 1, p. 5, 2021.

TUFAIL, T.; AIN, H.B.U.; NOREEN, S; IKRAM, A.; ARSHAD, M.T.; ABDULLAHI, M.A. Nutritional benefits of lycopene and beta-carotene: a comprehensive overview. **Food Sci. Nutr.**, v.12, n.11, p.8715-8741, 2024.

VANNUCCHI, H.; MARCHINI, J. S. **Nutrição Clínica**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2014.

VERGUTZ, L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 42, n. 2, p. 20-23, 2016.

VIARO, R. S.; VIARO, M. S.; FLECK J. Importância biológica do selênio para o organismo humano. **Ciência, Biologia e Saúde**, v. 2, n. 1, p. 17-21, 2001.

WANG, C.; YUE, L.; CHENG, B.; CHEN, F.; ZHAO, X.; WANG, Z.; XING, B. Mechanisms of growth-promotion and Se-enrichment in *Brassica chinensis* L. by selenium nanomaterials: Beneficial rhizosphere microorganisms, nutrient availability, and photosynthesis. **Environ. Sci. Nano**. v. 9, p. 302–312, 2022.

WANG, M.; WANG, Y.; GE, C.; WU, H.; JING, F.; WU, S.; LI, H.; ZHOU, D. Foliar Selenium Nanoparticles Application Promotes the Growth of Maize (*Zea mays* L.) Seedlings by Regulating Carbon, Nitrogen and Oxidative Stress Metabolism. **Sci. Hortic.** v. 311, 111816, 2023.

WINKEL, L.H.E.; VRIENS, B.; JONES, G.D.; SCHNEIDER, L.S.; PILON-SMITS, E.; BAÑUELOS, G.S. Selenium Cycling Across Soil-Plant-Atmosphere Interfaces: A

Critical Review. **Nutrients**. 7, p.4199-4239, 2015.

ZHANG, X.; LIU, R. P.; CHENG, W. H.; ZHU, J. H. Prioritized brain selenium retention and selenoprotein expression: nutritional insights into Parkinson's disease. **Mech. Ageing Dev.** v.180, p.89-96. 2019.

ZHOU, Y.; NIE, K.; GENG, L.; WANG, Y.; LI, L.; CHENG, H. Selenium's Role in Plant Secondary Metabolism: Regulation and Mechanistic Insights. **Agronomy**, v.15, n.54, 2025.

ARTIGO 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, BIOQUÍMICA, COMPOSTOS BIOATIVOS E ANÁLISE SENSORIAL EM PRODUTOS PROCESSADOS DE TOMATES CULTIVADOS EM SISTEMA ORGÂNICO E SEMI-HIDROPÔNICO

Mirian Cristina Maretti^{1*}; Alison Fernando Nogueira¹; Ana Clara Morini¹; Leandro Simões Azeredo Gonçalves¹; Mônica Regina da Silva Scapim²; Maurício Ursi Ventura¹

¹Departamento de Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

²Departamento de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.

*Autor para correspondência: miriancristinapr@gmail.com

Resumo

Os compostos antioxidantes de frutas e vegetais tem apresentado efeito protetor à redução da mortalidade, atribuído à presença de fitoquímicos com ações antioxidantes e anticancerígenas, a exemplo do licopeno, pigmento pertencente aos carotenóides, encontrado em frutos de tomate. O objetivo foi avaliar as características físico-químicas, bioquímicas e nutracêuticas de três produtos processados de frutos de tomate, cultivados em sistema orgânico e semi-hidropônico, em função dos diferentes tempos de armazenamentos destes produtos e avaliar a aceitação sensorial destes produtos. Para isso, 60 mudas de tomate da variedade BRS Nagai, foram divididas e sistema orgânico e sistema semi hidropônico. Os frutos foram processados para produção de catchup, molho de tomate e tomate seco e estes foram submetidos a análises físico químicas e bioquímicas (licopeno, compostos fenólicos totais, flavonoides, DPPH, Vitamina C, acidez titulável, açúcares redutores e pH), mediante a variação do tempo de prateleira (0, 2, 4 e 6 meses). A análise sensorial dos produtos catchup, molho de tomate e tomate seco foi realizada com a participação de 110 provadores adultos, não treinados. Os dados das análises qualitativas foram submetidos à análise de variância e testes de médias de Scott-Knott, e análises quantitativas foram avaliadas por regressão linear. Os dados da análise sensorial foram avaliados pelo Teste Não Paramétrico de Mann-Whitney. A caracterização físico-química e bioquímica mostrou que, independentemente do sistema de cultivo

ou do tipo de produto processado, o teor de licopeno aumentou conforme o tempo de armazenamento. Ao final do período de armazenamento (6 meses) os teores de vitamina C diminuíram no molho de tomate para os cultivos semi hidropônico e orgânico, enquanto que o tomate seco teve seus teores aumentados nas duas formas de cultivo. Na interação tripla (tempo x cultivo x produto), o molho de tomate sofreu variações físico-químicas em virtude dos diferentes tempos e diferentes cultivos, com exceção do pH e dos açúcares redutores. Quanto a qualidade sensorial, os produtos tiveram aceitação em ordem de preferência: molho de tomate, catchup e tomate seco. Por fim, pode-se constatar que o processamento térmico de tomate propiciou aumento da vida útil dos produtos e o aumento da concentração da atividade antioxidante, diretamente relacionada a estabilizar radicais livres.

Palavras-chave: antioxidantes, licopeno, flavonoides, produção vegetal, *Solanum lycopersicum* L.

Abstract

Antioxidant compounds in fruits and vegetables have shown a protective effect in reducing mortality, attributed to the presence of phytochemicals with antioxidant and anticancer properties, such as lycopene, a pigment belonging to the carotenoids, found in tomato fruits. The objective was to evaluate the physicochemical, biochemical, and nutraceutical characteristics of three processed tomato fruit products, cultivated in organic and semi-hydroponic systems, as a function of different storage times, and to evaluate the sensory acceptance of these products. For this purpose, 60 tomato seedlings of the BRS Nagai variety were divided into organic and semi-hydroponic systems. The fruits were processed to produce ketchup, tomato sauce, and sun-dried tomatoes, and these were subjected to physicochemical and biochemical analyses (lycopene, total phenolic compounds, flavonoids, DPPH, Vitamin C, titratable acidity, reducing sugars, and pH) according to the variation in shelf life (0, 2, 4, and 6 months). A sensory analysis of ketchup, tomato sauce, and sun-dried tomatoes was conducted with the participation of 110 untrained adult tasters. Qualitative data were subjected to analysis of variance and Scott-Knott mean comparison tests, and quantitative analyses were evaluated by linear regression. Sensory data were evaluated using the Mann-Whitney non-parametric test. Physicochemical and biochemical characterization showed that, regardless of the cultivation system or type of processed product,

lycopene content increased with storage time. At the end of the storage period (6 months), vitamin C levels decreased in tomato sauce for both semi-hydroponic and organic cultivation, while sun-dried tomatoes showed increased levels in both cultivation methods. In the triple interaction (time x cultivation x product), tomato sauce underwent physicochemical variations due to different times and cultivation methods, with the exception of pH and reducing sugars. Regarding sensory quality, the products were accepted in order of preference: tomato sauce, ketchup, and sun-dried tomatoes. Finally, it can be observed that the thermal processing of tomatoes increased the shelf life of the products and increased the concentration of antioxidant activity, directly related to stabilizing free radicals.

Keywords: antioxidants, lycopene, flavonoids, plant production, *Solanum lycopersicum* L.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos de alta qualidade nutricional tem aumentado devido a fatores como propriedades visuais e funcionais, à crescente conscientização do consumidor sobre a relação entre alimentação e saúde, bem como o amplo uso industrial para suplementação nutricional, fins farmacêuticos, aditivos alimentares e rações animais (Ilahy *et al.*, 2011).

Compostos antioxidantes e atividade antioxidante em frutas e vegetais demonstraram parâmetros importantes de qualidade nutricional dos alimentos. Sua quantificação permite uma avaliação real do valor nutricional, em vez da análise de cada composto antioxidante individualmente (Pellegrini *et al.*, 2007). Quanto ao tomate, o papel protetor de seu consumo deve-se ao efeito sinérgico entre as diferentes classes de antioxidantes (Amir *et al.*, 1999).

Compostos bioativos são substâncias orgânicas presentes em alimentos, animais e medicamentos, que têm propriedades benéficas para a saúde, contribuindo na prevenção e tratamento de doenças como diabetes e câncer, podendo ser usados na composição de fármacos ou ingeridos na alimentação. Não são considerados nutrientes essenciais, pois não são necessários para a sobrevivência, porém desempenham importante papel na prevenção de doenças e na promoção do bem-estar (Nora, 2021; Antunes, 2024). Alguns exemplos de compostos bioativos são os

fitoquímicos, carotenoides, flavonoides, fenólicos, ácido ascórbico, carboidratos não digeríveis (fibras solúvel e insolúvel), esteroides vegetais e fitoestrógenos (Nora, 2021).

Neste sentido, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.), uma das culturas nacionais de maior importância econômica, é a hortaliça mais industrializada na forma de inúmeros subprodutos (Nascimento *et al.*, 2013). É uma importante fonte de antioxidantes e contribui para a ingestão diária de uma quantidade significativa dessas moléculas. São consumidos frescos ou como produtos processados, através de molho, suco, *catchup* e sopa (Lenucci *et al.*, 2006), como extrato, polpa, pasta e tomate seco (Nascimento *et al.*, 2013), podendo fornecer uma quantidade significativa de metabólitos secundários que são responsáveis por eliminar os radicais livres (Borguini; Torres, 2009).

Tomates e produtos derivados de tomate são ricos em componentes alimentares antioxidantes e considerados uma fonte de carotenoides, em particular licopeno, ácido ascórbico (vitamina C), vitamina E, ácido fólico e compostos bioativos (Souza *et al.*, 2008; Borguini *et al.*, 2013). Entre os compostos bioativos em tomate estão os flavonoides (quercetina, rutina, kaempferol e naringenina) e os ácidos fenólicos (ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido clorogênico e ácido ferúlico) (Long *et al.*, 2006).

Entre os antioxidantes estudados em tomate, o licopeno tem atraído interesse das pesquisas devido à sua atividade antioxidante contra radicais livres, sugerindo papéis protetores na redução do risco de diversas doenças crônicas (Hdider *et al.*, 2013). Estes compostos apresentam importantes propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, contribuindo para os benefícios à saúde associados ao consumo de tomate, como a proteção contra doenças degenerativas (Long *et al.*, 2006). Por isso, cultivares de tomate com maior teor de licopeno têm sido desenvolvidas (Hdider *et al.*, 2013).

Na década de 1990, estudos indicavam que o consumo regular de tomates e seus produtos tinham correlação à redução do risco de diversos tipos de câncer e doenças cardiovasculares (Giovannucci *et al.*, 1995; Clinton, 1998). Segundo Borguini *et al.* (2013), esse efeito positivo é atribuído aos antioxidantes, em particular aos carotenoides (licopeno e β -caroteno) e outros compostos fenólicos.

A composição química do fruto depende de fatores como genética, maturidade do fruto e condições de cultivo. Porém, os autores afirmavam que havia pouca

informação sobre o efeito de diferentes formas de cultivo no potencial antioxidante do tomate (Borguini *et al.*, 2013).

A agricultura orgânica é um método de cultivo que visa o estabelecimento de sistemas agrícolas ecologicamente equilibrados e estáveis, economicamente produtivos e de elevada eficiência (Nascimento *et al.*, 2013). A FAO define a agricultura orgânica como um sistema de produção baseado no uso máximo dos recursos disponíveis, na proteção da fertilidade do solo e da atividade biológica, no uso mínimo de recursos não renováveis e na restrição do uso de substâncias sintéticas nocivas ao ecossistema e aos seres vivos (Food and Agriculture Organization, 2018).

A demanda por alimentos orgânicos está em ascensão, refletida em um crescimento significativo de 11% no comércio de alimentos orgânicos nos Estados Unidos, o maior mercado orgânico do mundo, reflexo de agricultores que estão produzindo em mais terras certificadas como orgânicas, com 179 países relatando atividades na agricultura orgânica (Arce-Amezquita, 2019).

De acordo com Toledo *et al.* (2011), o mercado de produtos orgânicos é impulsionado pela demanda de consumidores preocupados com qualidade, saúde, questões ambientais e preservação, devido a produção orgânica apresentar melhor desempenho ambiental quando comparado ao sistema convencional, por favorecer a conservação dos recursos naturais.

Por sua vez, o cultivo hidropônico pode ser feito com ou sem substrato onde o fornecimento de água e nutrientes é com o uso de solução nutritiva. Os substratos mais usados no sistema hidropônico são a areia, lã de rocha e perlita, podendo-se utilizar ainda substratos como fibra de coco e casca de arroz parcialmente carbonizada (Furlani *et al.*, 2015). No cultivo em substrato, também chamado de semi-hidropônico, as plantas são cultivadas em contentores (vasos, sacos de cultivo ou slabs e calhas) contendo um substrato e com aplicação frequente de uma solução nutritiva. Esse tipo de cultivo vem se popularizando cada vez mais em países da Europa (Holanda, Espanha e Itália), nos EUA, México, China, Norte da África e no Brasil, principalmente no cultivo de hortaliças-fruto, como tomate, pimentão, pepino, melão, morango, além do cultivo de flores de corte e plantas ornamentais (Miranda *et al.*, 2023).

O objetivo deste estudo foi realizar a caracterização físico-química, bioquímica, quantificar os compostos bioativos e atividade antioxidante de tres produtos processados de frutos de tomate cultivados em sistema orgânico e semi-hidropônico,

em função dos diferentes tempos de armazenamentos destes produtos. Além disso, avaliar a aceitação sensorial destes produtos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL VEGETAL

O preparo das mudas foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), sob as coordenadas geográficas 23°19'40"S, 51°12'20"O, clima classificado como Subtropical Úmido (Cfa).

2.2 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Sementes da variedade BRS Nagai, foram semeadas em bandejas plásticas com 128 células e substrato comercial Carolina Soil®. Após 30 dias as mudas foram transplantadas. As plantas foram cultivadas em dois sistemas de produção, sendo cultivo orgânico e o cultivo semi hidropônico. O cultivo orgânico foi conduzido com 30 plantas com espaçamento de 0,50 m entre plantas e 1,00 m entre linhas de plantio, na chácara São José, que dispõe de certificação orgânica, em área de produção comercial em ambiente protegido. A propriedade está localizada na Estrada São Pedro da Taquara, região de Apucarana, Paraná, sob as coordenadas geográficas 23°36'50"S, 51°17'09.2"W, clima classificado como Subtropical Úmido (Cfa/Cfb).

No sistema de manejo orgânico, o solo foi preparado com composto Humorgan na proporção 1/1. O manejo e os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade do cultivo, sendo aplicados produtos fitossanitários recomendados no manejo orgânico para a cultura do tomate.

Quanto ao cultivo semi hidropônico, foram transplantadas 30 mudas em vasos preparados com substrato, cuja composição foi uma parte de solo, uma parte de areia e uma parte de esterco bovino curtido. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação do Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, realizando-se irrigação diária. A solução nutritiva (Tabela 1) foi aplicada semanalmente de forma manual, na quantidade de 2 litros por vaso. Não foram observadas doenças e pragas durante o período de cultivo. As plantas de tomate

foram submetidas a retirada do ponteiro e desbaste de folhas em excesso, para melhor produção dos frutos.

Tabela 1 - Composição e condutividade elétrica da solução hidropônica.

Fonte	CE (mS/cm/kg)
NC (nitrato de cálcio)	1,40
6-15-31 (formulação NPK)	1,20
SM (sulfato de magnésio)	0,44
NP (nitrato de potássio)	1,33
MAP (fosfato monoamônico)	0,86
SP (superfosfato simples)	1,40

A solução foi preparada para volume de 1000 L de uma caixa d'água, localizada na estufa onde foi mantida armazenada. Para aplicação nos vasos, utilizou-se a quantidade de 2 L por aplicação semanal, proporcionalmente por vaso do experimento, durante o período de cultivo.

Os frutos produzidos em canteiro (cultivo orgânico) foram colhidos noventa dias após o plantio das mudas, e os frutos produzidos em vasos (cultivo semi hidropônico) foram colhidos cem dias após o plantio.

Foram colhidos frutos de tomate de acordo com o subgrupo vermelho e vermelho maduro, descritos na Portaria n. 553/95 do MAARA (BRASIL, 1995) e Anexo XVII da Portaria SARC n. 085/02 do MAPA (BRASIL, 2002), quanto ao estágio de maturação, que classifica o tomate de coloração vermelha, em cinco subgrupos: verde maduro, pintado, rosado, vermelho e vermelho maduro. Verde maduro: quando se evidencia o início do amarelecimento na região apical do fruto; pintado: quando as cores amarelo, rosa ou vermelho encontram-se entre 10% a 30 % da superfície do fruto; rosado: quando 30% a 60% do fruto encontra-se vermelho; vermelho: quando o fruto apresenta entre 60% e 90% da sua superfície vermelha; e vermelho maduro: quando mais de 90% da superfície do fruto encontra-se vermelha. Foram colhidos frutos que apresentavam ausência de doenças e lesões.

Após a realização das colheitas, os frutos de tomate foram acondicionados em caixas plásticas e transportados ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá (UEM), onde foram selecionados por cor e tamanho. Frutos menores e vermelho maduros foram selecionados para o processamento de molho e catchup, enquanto frutos maiores e com coloração vermelho e vermelho maduro, foram selecionados

para a produção de tomate seco. Em seguida os frutos foram homogeneizados em água corrente e colocados por 15 minutos em imersão, em solução de hipoclorito de sódio a 1% para sanitização. Na sequência, realizou-se a lavagem dos frutos em água corrente para retirar o excesso do produto. Foram processados em torno de 80 kg de tomate produzidos em cada sistema de produção.

2.3 PREPARO DOS PRODUTOS PROCESSADOS DE TOMATE

Tabela 2 - Formulação do catchup de tomate.

INGREDIENTE	QUANTIDADE (%)
Suco de Tomate Concentrado (14° brix)	70,70
Açúcar Cristal	7,50
Sal Refinado	1,10
Glucose de Milho	11,30
Vinagre de Vinho 10% de Acidez	8,30
Salsa em Pó	0,12
Cebola em Pó	0,18
Noz Moscada em Pó	0,06
Alho em Pó	0,64
Cravo	0,05
Canela	0,05
Total	100

Para o processamento do catchup utilizando-se a formulação descrita na Tabela 2, utilizou-se centrífuga marca Walita Juicer modelo RI1858 Inox, para o aproveitamento do suco de tomate, excluindo-se assim casca e semente. O suco apresentou inicialmente Teor de Sólidos Solúveis de 4,5°Brix, sendo concentrado até 14°Brix em fogão doméstico, utilizando-se panelas de aço inox. Em seguida, acrescentou-se o açúcar cristal, sal, glucose de milho, cebola, alho, salsa, canela, cravo e noz moscada e procedeu-se a concentração até 31°Brix. Para finalizar, adicionou-se o vinagre que foi misturado e o fogo desligado. Em seguida o produto foi envasado em vidros esterilizados com capacidade de 240g, fechados com tampa de metal, virados de cabeça para baixo por 5 minutos e esfriados com água fria. Depois de frios, os vidros foram etiquetados e congelados em freezer doméstico.

Tabela 3 - Formulação do molho de tomate.

INGREDIENTE	QUANTIDADE (%)
Tomate	85,9
Açúcar Cristal	0,50
Sal Refinado	1,10
Cebola	10
Alho	2
Óleo de soja	0,5
Total	100

Para o processamento do molho de tomate (Tabela 3), utilizou-se centrífuga marca Walita Juicer modelo RI1858 Inox, para o aproveitamento do suco de tomate, excluindo-se assim casca e semente. O suco apresentou inicialmente Teor de Sólidos Solúveis de 4,5°Brix. Em uma panela de aço inox, levada ao fogo em fogão doméstico, colocou-se o óleo de soja e refogou-se a cebola e o alho. O suco de tomate foi adicionado ao refogado e em seguida, acrescentou-se açúcar cristal e sal. Com a cocção o produto foi concentrado até atingir 18°Brix. Desligou-se o fogo e o produto foi envasado em vidros esterilizados com capacidade de 240g, fechando com tampa de metal. Os vidros foram virados de cabeça para baixo por 5 minutos e esfriados com água fria. Depois de frios, os vidros foram etiquetados e congelados em freezer doméstico.

Tabela 4 - Formulação do tomate seco.

INGREDIENTE	QUANTIDADE (%)
Tomate	100
Açúcar Cristal	10
Sal Refinado	5
Azeite de oliva extra virgem	Q.B. (quanto baste)

Após a sanitização, para a produção do tomate seco (Tabela 4), os frutos foram cortados ao meio no sentido longitudinal e as sementes retiradas com auxílio de uma colher de aço inox. O açúcar cristal e o sal foram misturados em um recipiente de aço inox e reservados. As metades dos tomates foram colocadas na esteira do desidratador com as sementes voltadas para cima. A mistura de açúcar e sal foi salpicada na quantidade suficiente para cobrir superficialmente cada metade. Em seguida, os tomates foram desidratados em temperatura de 140°C utilizando-se desidratador de alimentos elétrico semi industrial, por tempo médio de 6-7 horas. As esteiras com o tomate desidratado foram retiradas do equipamento e colocadas em

temperatura ambiente para o produto esfriar. Em seguida, foram retirados da assadeira e acondicionados em vidros com capacidade de 240ml, previamente esterilizados. Adicionou-se o azeite de oliva, cobrindo totalmente o produto. Os vidros foram armazenados em temperatura ambiente para realização das análises posteriormente.

2.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS PRODUTOS PROCESSADOS DE TOMATE

As análises físico-químicas dos produtos processados de tomate foram realizadas nos tempos 0 meses, 2 meses, 4 meses e 6 meses, simulando o armazenamento do tempo de prateleira do produto, com o objetivo de verificar a manutenção da qualidade e os teores nutricionais dos produtos processados.

A acidez titulável (AT) foi quantificada por titulação com solução padronizada de NaOH 0,1N até pH 8,2, de acordo com o método nº 942.15 da AOAC (1997). Os resultados foram expressos em gramas de equivalente de ácido cítrico/100 g de amostra.

O pH foi determinado pelo titulador automático (FPC-E24), segundo a ISO 1842 (Jordan, 2007).

O teor de vitamina C foi quantificado pelo método padrão da AOAC (1984) modificado por Benassi e Antunes (1988), utilizando 10,0 g da amostra e 40 mL de ácido oxálico (Synth) a 2% (m/v). Após a extração, as suspensões foram filtradas e o sobrenadante titulado com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol. O método foi aplicado utilizando cinco repetições e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra.

A extração de licopeno foi adaptada de Adalid *et al.* (2010), sendo preparada com 0,5 mg de uma amostra do fruto macerado com 5,0 mL de solução de etanol e hexano (3:2, v/v). O licopeno foi quantificado de acordo com Rodriguez-Amaya (2001) e Rodriguez-Amaya e Kimura (2004); a fração de hexano foi lida com o auxílio de um espectrofotômetro (Genesys 10, Thermo) a 470 nm para licopeno, expressa em mg kg⁻¹.

A quantificação dos açúcares redutores (AR) foi determinada pelo método DNS proposto por Maldonade *et al.* (2013).

Para a atividade antioxidante pelo ensaio DPPH foi utilizando o método de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH•), onde 50,0 µL de extrato

etanólico a 70% (v/v) foram misturados com 1,0 mL de tampão acetato 100 mM (pH 5,5), 1,0 mL de etanol e 0,5 mL de solução etanólica de DPPH 250,0 μ M. Os tubos foram mantidos à temperatura ambiente por 15 minutos no escuro e a absorbância do radical DPPH• remanescente foi medida utilizando um espectrofotômetro (Thermo-Genesys) em comprimento de onda de 517 nm. O Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) foi adotado como padrão para quantificação e os resultados foram expressos em μ mol de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) 100 g⁻¹ de amostra (Brand-Williams *et al.*, 1995).

A quantificação de flavonóides totais foi baseada em Gurnani *et al.* (2016), em que a quercetina (50–500 mg L⁻¹) foi usada como padrão analítico e expressa em mg equivalentes de quercetina 100g⁻¹.

Para determinação dos compostos fenóis totais (TPC) foi realizado um extrato de acordo com metodologia de Vázquez *et al.* (2008) com adaptação. O método utilizado foi o Swain And Hillis (Swain; Hillis, 1959), e a absorbância foi medida em comprimento de onda de 765 nm em um espectrofotômetro Micronal (AJX1600), sendo os resultados expressos como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de amostra (mg GAE 100 g⁻¹).

2.5 ANÁLISE SENSORIAL DOS PRODUTOS PROCESSADOS DE TOMATE

Para a análise sensorial foram utilizados o catchup, o molho de tomate e o tomate seco no tempo 0 meses de armazenamento. Foram recrutados 110 provadores adultos, não treinados, entre estudantes, professores e funcionários da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Cada provador avaliou subjetivamente e uma única vez, amostras servidas à temperatura ambiente com 15g (medida caseira – 1 colher de sopa) de cada tratamento (cultivo orgânico e cultivo semi hidropônico) de catchup e molho de tomate, bem como amostras com uma porção em torno de 12g de tomate seco também de cada tratamento, que foram servidas sobre uma porção de ¼ (um quarto) de fatia de pão de forma simples (em torno de 8g).

Para realização da análise sensorial, as amostras foram fornecidas aos provadores em cabines individuais, dispostas no laboratório de análise sensorial do Laboratório de Tecnologia de Alimentos no Departamento de Engenharia de Alimentos (UEM). Foi garantida iluminação uniforme e temperatura ambiente para que esses fatores não interferissem na avaliação.

As amostras foram servidas em pratos descartáveis brancos devidamente codificados com números de três algarismos. Segundo a metodologia utilizada por Gacula Júnior e Singh (1984) as amostras foram codificadas e apresentadas de forma casual, sem seqüência previamente estabelecida.

Os provadores receberam água sem gás, para limpeza do palato entre a avaliação de uma amostra e outra.

A avaliação sensorial dos produtos para aspecto global foi realizada de acordo com metodologia de Dutcosky (2013), fazendo uso de uma escala hedônica de 9 pontos: (9) gostei muitíssimo, (8) gostei muito, (7) gostei moderadamente, (6) gostei ligeiramente, (5) nem gostei/nem desgostei, (4) desgostei ligeiramente, (3) desgostei moderadamente, (2) desgostei muito, (1) desgostei muitíssimo. Ao final da avaliação, constava também na ficha de avaliação, a possibilidade de o provador indicar o que havia gostado mais ou menos na amostra. A ficha de avaliação sensorial consta no Apêndice A.

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados referentes as análises físico-químicas das variáveis resposta (pH, açúcar redutor, licopeno, acidez titulável, vitamina C, DPPH, flavonoides e compostos fenólicos) dos produtos de tomate foram analisados através do software estatístico SISVAR, sendo que, na ocorrência de diferenças significativas foram aplicados testes de médias de Scott-Knott para as fontes de variação qualitativas, enquanto que, para as fontes quantitativas foram aplicadas análises de regressão. Para todos os testes e análises trabalhou-se com o nível de significância de 5%.

Os dados da análise sensorial foram avaliados pelo Teste Não Paramétrico de Mann-Whitney. Foram construídos boxplots para verificar diferenças significativas entre os produtos de tomate nos diferentes sistemas de produção. Os dados da análise sensorial foram analisados através do software estatístico R (R Core Team, 2025), utilizando os pacotes readxl, tidyverse, ggpubr.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças significativas entre as variáveis físico-químicas

avaliadas (Tabela 5). Para a variável pH, observaram-se diferenças significativas nas interações duplas, enquanto que, para as demais variáveis, foram detectadas diferenças significativas nas interações triplas. Ressalta-se que a interpretação dos resultados concentraram-se nas interações duplas para a variável pH e nas interações triplas para as demais variáveis, uma vez que verificou-se a existência de relações de dependência entre os fatores estudados. Observou-se, ainda, que essa dependência se mostrou mais pronunciada nas interações triplas estatisticamente significativas, justificando a ênfase dada a esses efeitos na discussão dos resultados.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância (p-valor) de diferentes variáveis resposta avaliadas de produtos armazenados em diferentes tempos e originados de frutos de tomate obtidos de diferentes cultivos.

FV	pH	AR	AT	LIC	VITC	DPPH	FLA	CFT
Tempo (T)	0.0000 *	0.3991 NS	0.0000 *	0.0000 *	0.0654 NS	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *
Cultivo (C)	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.9144 NS	0.0000 *	0.0000 *
Produto (P)	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *
T x C	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0531 NS	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *
C x P	0.0550 NS	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *
T x P	0.0005 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0061 *	0.0000 *
T x C x P	0.2232 NS	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0300 *	0.0000 *	0.0000 *	0.0000 *

FV: Fonte de Variação; AR: Açúcar redutor (g/100g); AT: Acidez Titulável (g ácido cítrico/100g); LIC: Licopeno (mg/kg); VITC: Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g); DPPH: atividade antioxidante (% DPPH radical scavenging); FLA: Flavonóides (mg QE/100g); CFT: Compostos fenólicos totais (mg EAG/100g); . *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. NS não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: o próprio autor.

3.1 ESTUDO DO DESDOBRAMENTO DE TEMPO X CULTIVO NAS VARIÁVEIS

De acordo com a Tabela 5, com exceção do teor da vitamina C, a interação entre tempo e cultivo nas demais variáveis foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste F. Existem evidências de que as diferentes variáveis foram influenciadas

significativamente pelo efeito da interação entre tempo e cultivo. Desta forma, procedeu-se ao desdobramento do cultivo em cada tempo por meio do Teste de Scott-Knott e ao desdobramento do tempo em cada cultivo por meio de análise de regressão.

Tabela 6 - Análise do desdobramento do tempo em cada cultivo em diferentes variáveis na interação tempo x cultivo segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tempos	Cultivos	pH*
0	Orgânico	4.20a
	Semi-hidropônico	4.34b
2	Orgânico	4.24a
	Semi-hidropônico	4.35b
4	Orgânico	4.34a
	Semi-hidropônico	4.37a
6	Orgânico	4.42a
	Semi-hidropônico	4.43a

*Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de significância para o Teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Fonte: o próprio autor.

De acordo com os dados da Tabela 6, as variáveis físico-químicas foram influenciadas pelos diferentes tempos e cultivos, ou seja, os cultivos em cada tempo afetaram significativamente as médias das variáveis físico-químicas avaliadas nos produtos de tomate.

Com relação ao pH, foram encontradas diferenças significativas nos cultivos nos tempos 0 e 2 meses de armazenamento, sendo que nos primeiros tempos, os produtos de tomate obtidos do cultivo semi-hidropônico apresentaram os maiores valores de pH em comparação aos produtos produzidos com tomate de cultivo orgânico.

Provavelmente esse fato ocorreu devido a frutos de tomates cultivados em sistema semi-hidropônico serem mais ácidos do que frutos cultivados em sistema orgânico. Comportamento semelhante foi encontrado por Ferreira *et al.* (2010), em estudo sobre a qualidade de tomate de mesa cultivado nos sistemas convencional e orgânico.

Tabela 7 - Análise do desdobramento dos produtos em cada tempo em diferentes variáveis na interação tempo x produto segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tempos	Produtos	pH*
0	Catchup	4,25 b
	Molho de tomate	4,20 c
	Tomate seco	4,37 a
2	Catchup	4,27 b
	Molho de tomate	4,26 b
	Tomate seco	4,35 a
4	Catchup	4,34 b
	Molho de tomate	4,32 b
	Tomate seco	4,40 a
6	Catchup	4,43 a
	Molho de tomate	4,40 a
	Tomate seco	4,44 a

*Médias com letras iguais, na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de significância para o Teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Fonte: o próprio autor.

Observando a Tabela 7, o pH dos produtos foi afetado significativamente pelos diferentes tempos de armazenamento. No tempo 0, o pH do tomate seco foi estatisticamente superior ao molho e ao catchup, respectivamente. Nos tempos 2 e 4 meses de armazenamento, verificou-se que o pH do tomate seco foi superior ao pH dos demais produtos. Contudo, após 6 meses de armazenamento, verificou-se que o pH dos produtos não diferiram entre si.

Procedeu-se a análise do desdobramento quando se fixam os cultivos e os tempos. Com relação ao pH, ajustou-se o modelo de regressão quadrática para todos os cultivos, sendo que o Gráfico 1, mostra a variação de pH dos produtos de tomate em função do tempo nos diferentes cultivos.

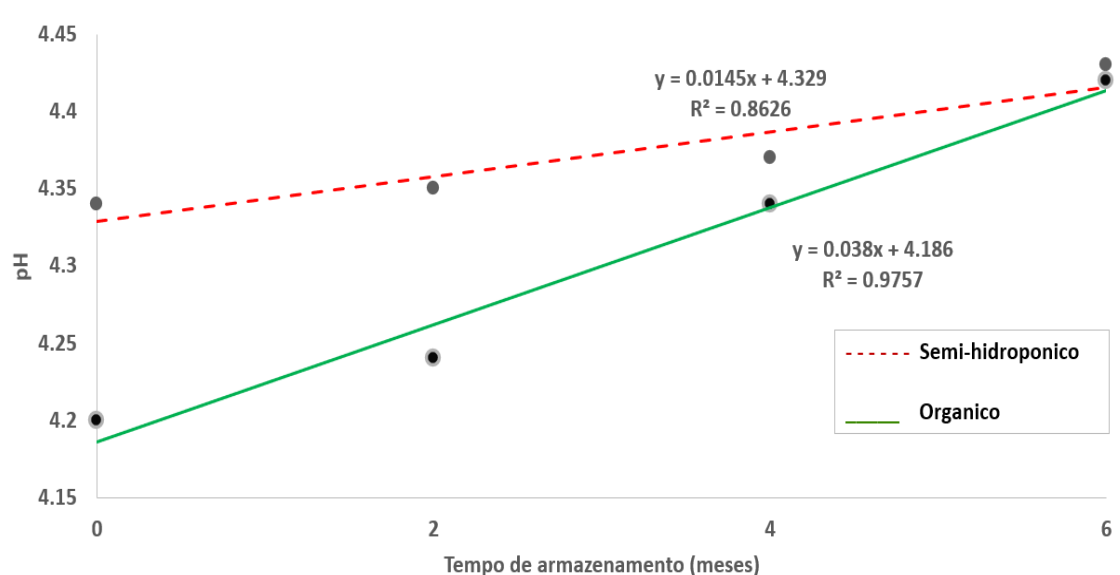


Gráfico 1 - Variação dos teores de pH ao longo dos meses de armazenamento de produtos produzidos com tomates semi-hidropônico e tomates orgânicos.

Fonte: o próprio autor.

A análise do Gráfico 1 permite afirmar que à medida que os tempos de armazenamento dos produtos foi aumentando, os valores de pH também aumentaram, sendo que, para o tempo de armazenamento de 6 meses nota-se proximidade nos valores de pH entre os produtos produzidos com tomate semi-hidropônico e tomate orgânico.

Apesar de o pH dos produtos ter apresentado aumento ao longo dos diferentes tempos de armazenamento, os valores das amostras dos três produtos mostraram-se dentro de uma faixa considerada segura que é inferior a 4,5, na qual a probabilidade de multiplicação microbiana é mínima (Santos, 2014).

Silva *et al.* (2024) caracterizaram molhos agrídoces de tomate e com misturas de polpas de abóbora e de manga e tiveram resultados de pH entre 3,11 e 3,54, sendo estes abaixo dos valores encontrados no presente estudo. Os autores afirmaram que entre os parâmetros analisados para a qualidade de molho de tomate, o pH é bastante importante pois a acidez influencia as condições do tratamento térmico para a obtenção de produtos seguros.

Melo *et al.* (2012) observaram valores de pH abaixo dos encontrados no presente estudo para molhos armazenados em condições distintas (temperatura ambiente e de refrigeração), com valores entre 3,73 e 3,84. Jaime *et al.* (1998) também encontraram valores médios abaixo deste estudo (4,10). Porém, Hoffmann,

Garcia-Cruz e Vinturim, (1993) encontraram valores de pH semelhantes (4,3), para estudos que avaliaram molhos de tomate.

Porém, mesmo os valores encontrados neste estudo, estarem na faixa considerada segura, os valores de pH para catchup estão acima aos encontrados por Silva *et al.* (2016), que analisaram as características físico-químicas de quatro marcas de catchup comercializadas em Goianápolis-GO e obtiveram valores entre 3,50 e 3,90. Também em estudo realizado por Guedes *et al.* (2020) para avaliar as características físico-químicas de produtos processados derivados de tomate, comercializados em Minas Gerais, foram encontrados valores que variaram entre 3,59 e 4,02 em amostras de catchup. Entretanto, estes valores estão abaixo do valor de 4,51 encontrado por Silva, Javará e Braz (2018) ao avaliarem a qualidade e a aceitação do tomate variedade *sweet grape*, desidratado em secador solar híbrido elétrico fotovoltaico.

Munhoz *et al.* (2011) pesquisando as características físico-químicas e aceitabilidade de tomate seco, encontraram valores médios de pH de 5,3, estando assim acima dos valores observados neste estudo.

3.1.1 INTERAÇÃO TEMPO X PRODUTO

A interação tempo e produto foi significativa para todas as variáveis físico-químicas avaliadas a 5% de probabilidade pelo teste F. Neste caso também se realizou o desdobramento dos produtos dentro de cada tempo e do tempo dentro de cada produto. Para o estudo do desdobramento dos produtos foi aplicado o teste de médias de Scott-Knott para a verificação destas diferenças. Os resultados estão expressos na Tabela 3.

As variáveis físico-químicas avaliadas nos diferentes produtos também foram afetadas pelos diferentes tempos de armazenamento. Desta forma, foram ajustados modelos de regressão para explicar a variação das variáveis físico-químicas em função do tempo de armazenamento.

Com relação a pH o melhor ajuste dos dados para catchup e molho de tomate foi obtido com o modelo de regressão quadrática, enquanto que, para o tomate seco foi o modelo de regressão linear, podendo-se observar estes comportamentos no Gráfico 2.

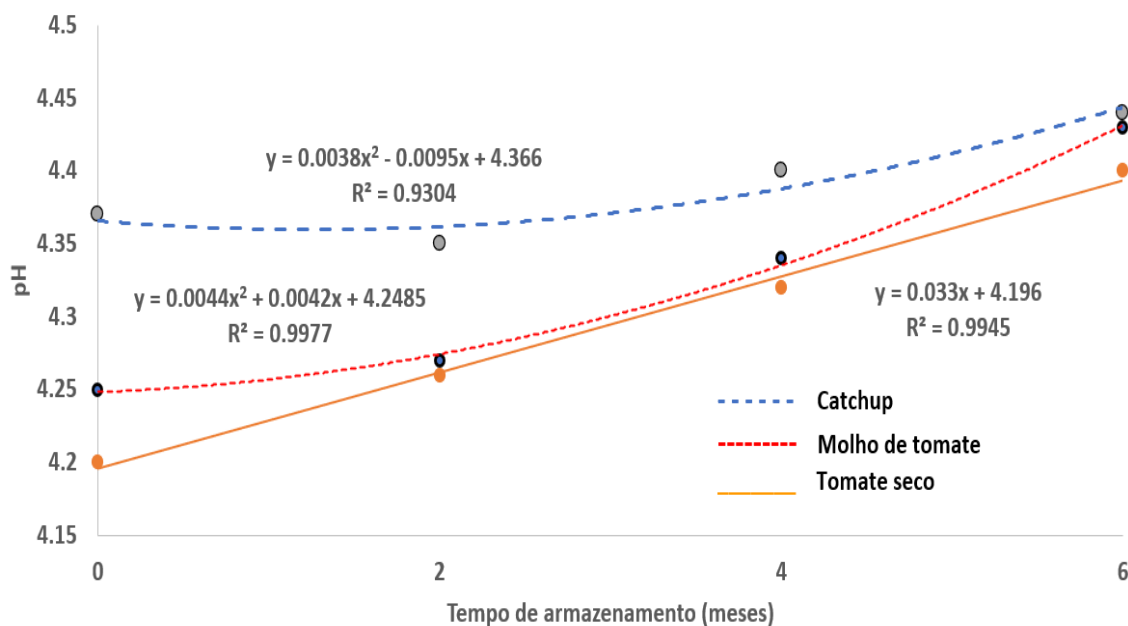


Gráfico 2 - Variação do pH em diferentes produtos à base de tomate em função dos tempos de armazenamento.

Fonte: o próprio autor.

Pode-se notar que à medida que aumenta o tempo de armazenamento, os valores de pH dos produtos aumentam, isto é, quanto maior o tempo de armazenamento dos produtos, nota-se também o aumento da acidez. Desta forma, aos 6 meses de armazenamento a acidez dos produtos é muito próxima.

3.2 INTERAÇÕES TRIPLAS

Com exceção do pH, as demais variáveis físico-químicas medidas nos produtos produzidos com tomate sofreram influência significativa conjunta dos fatores tempo de armazenamento, produtos e cultivo. Neste caso, fez-se o desdobramento do cultivo dentro de cada nível das fontes de variação tempo e produto. Como cultivo é variável qualitativa foi aplicado teste de médias de Scott-Knott para a verificação destas diferenças. Na Tabela 8 são apresentados os resultados da análise do desdobramento dos cultivos para cada combinação (tempo x produto) segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Análise do desdobramento dos cultivos em cada combinação (tempo x produto) em diferentes variáveis segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tempos	Produtos	Cultivos	AR	LIC	AT	VITC	DPPH	FLA	CFT
0	Catchup	Orgânico	0,74a	0,19b	4,66b	6,70a	0,13b	0,35b	0,75b
		S.-hidro	0,46b	0,24a	5,70a	4,55b	0,14a	0,88a	0,87a
	Molho	Orgânico	0,73b	0,15b	5,07b	5,88a	0,11a	0,81a	0,87a
		S.-hidro	0,97a	0,18a	5,70a	5,22b	0,13a	0,67b	0,89a
	Tomate seco	Orgânico	0,64b	0,19b	5,03b	4,50a	0,09a	0,86a	0,40a
		S.-hidro	0,76a	0,24a	5,70a	3,93b	0,09a	0,66b	0,42a
2	Catchup	Orgânico	0,88a	0,26a	5,07b	6,82a	0,11b	0,54b	0,79b
		S.-hidro	0,44b	0,22b	5,70a	4,87b	0,14a	0,89a	0,88a
	Molho	Orgânico	0,71b	0,19b	5,07b	6,04a	0,11a	0,93a	0,81b
		S.-hidro	0,97a	0,23a	5,77a	5,24b	0,12a	0,77b	0,91a
	Tomate seco	Orgânico	0,55b	0,15b	5,07b	4,70a	0,10a	0,87a	0,40a
		S.-hidro	0,78a	0,20a	5,97a	3,83b	0,07a	0,67b	0,42a
4	Catchup	Orgânico	0,82a	0,24b	5,07b	6,35a	0,11b	0,52b	0,83a
		S.-hidro	0,46b	0,29a	5,70a	4,61b	0,14a	0,89a	0,88a
	Molho	Orgânico	0,62b	0,20b	5,33a	6,10a	0,11b	0,92a	0,85b
		S.-hidro	0,94a	0,23a	5,73a	5,59b	0,14a	0,74b	0,91a
	Tomate seco	Orgânico	0,79a	0,24b	5,13b	4,56a	0,10b	0,88a	0,42b
		S.-hidro	0,49b	0,30a	5,70a	4,37b	0,15a	0,84a	0,84a
6	Catchup	Orgânico	0,97a	0,31a	5,13b	6,90a	0,11b	0,54b	0,46b
		S.-hidro	0,48b	0,27b	5,80a	4,54b	0,14a	0,88a	0,87a
	Molho	Orgânico	0,90a	0,24b	9,83b	4,27a	0,34b	0,80b	0,42b
		S.-hidro	0,88a	0,28a	11,8a	4,16a	0,34a	0,92a	0,64a
	Tomate seco	Orgânico	0,52a	0,21b	5,30b	5,83a	0,32a	0,90a	0,43b
		S.-hidro	0,46a	0,25a	5,80a	4,47b	0,14b	0,84a	0,88a

AR: Açúcar redutor (g/100g); AT: Acidez Titulável (g ácido cítrico/100g); LIC: Licopeno (mg/kg); VITC: Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g); DPPH: atividade antioxidante (% DPPH radical scavenging); FLA: Flavonóides (mg QE/100g); CFT: Compostos fenólicos totais (mg EAG/100g); . *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. NS não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: o próprio autor.

As variáveis físico-químicas foram afetadas significativamente pela interação

tripla, no cenário em que se avaliou desempenho das variáveis considerando a diferenciação dos produtos relacionada com os diferentes cultivos e considerando-se também tempos determinados.

O tomate é uma das hortaliças mais consumidas no ambiente doméstico tanto na forma *in natura* como processada. Dessa forma, é importante conhecer os efeitos do processamento térmico doméstico sobre a capacidade antioxidante desse fruto (Abreu; Barcelos, 2012).

O processamento confere palatabilidade ao “fruto tomate”, o que faz com que esses produtos se tornem alternativas ao consumo de tomate *in natura*, aproveitando seus benefícios, como a redução do risco de doenças associadas ao stress oxidativo (Barcelos *et al.*, 2019).

Considerando a análise no tempo 0 de armazenamento para o produto catchup (Tabela 8), pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores e vitamina C foram estatisticamente superiores no produto produzido com tomates orgânicos em comparação ao mesmo produto de tomates semi-hidropônico. Contudo, a acidez titulável e os teores médios de licopeno, DPPH, flavonoides e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no catchup de tomates semi-hidropônico em comparação ao mesmo produto de tomates orgânicos.

Para o tempo 0 de armazenamento e o produto molho de tomate (Tabela 8), pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de açúcares redutores e licopeno foram estatisticamente superiores no catchup fabricado com tomates semi-hidropônico em comparação ao mesmo produto fabricado com tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de vitamina C e flavonoides foram estatisticamente superiores no molho fabricado com tomates orgânicos em comparação ao mesmo produto fabricado com tomates semi-hidropônico. Além disso, os teores médios de DPPH e compostos fenólicos totais não foram influenciados significativamente pelo catchup originado de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Para o tempo 0 de armazenamento e o produto tomate seco (Tabela 8), pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de açúcares redutores e licopeno foram estatisticamente superiores no catchup fabricado com tomates semi-hidropônico em comparação ao mesmo produto fabricado com tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de vitamina C e flavonoides foram estatisticamente superiores no molho fabricado com tomates semi-hidropônico em comparação ao mesmo produto fabricado com tomates orgânicos. Além disso, os teores médios de

DPPH e compostos fenólicos totais não foram influenciados significativamente pelo molho originado de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Considerando a análise no tempo de 2 meses de armazenamento para o produto catchup (Tabela 8), pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores, licopeno e vitamina C foram estatisticamente superiores no produto produzido com tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Contudo, a acidez titulável e os teores médios de DPPH, flavonoides e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no catchup fabricado com tomates semi-hidropônico em comparação ao produto de tomates orgânicos.

Para o tempo de 2 meses de armazenamento e o produto molho de tomate (Tabela 8), pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de açúcares redutores, licopeno e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no molho fabricado com tomates semi-hidropônico, em comparação ao produto de tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de vitamina C e flavonoides foram estatisticamente superiores no molho de tomates orgânicos em comparação ao produto produzido de tomates semi-hidropônico. Além disso, os teores médios de DPPH não foram influenciados significativamente pelo molho de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Para o tempo de 2 meses de armazenamento quanto ao tomate seco (Tabela 8), pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores, licopeno e acidez titulável foram estatisticamente superiores no catchup de tomates semi-hidropônico, quando comparados ao produto de tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de vitamina C e flavonoides foram estatisticamente superiores no molho de tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Além disso, os teores médios de DPPH e compostos fenólicos totais não foram influenciados significativamente pelo molho de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Considerando a análise no tempo de 4 meses de armazenamento para o produto catchup (Tabela 8), pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores, e vitamina C foram estatisticamente superiores no produto de tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Contudo, a acidez titulável e os teores médios de licopeno, DPPH e flavonoides foram estatisticamente superiores no catchup de tomates semi-hidropônico em comparação ao produto de tomates orgânicos. Os teores médios de compostos fenólicos totais não foram influenciados pelo catchup de tomate orgânico ou tomate semi-hidropônico.

Para o tempo de 4 meses de armazenamento e o produto molho de tomate (Tabela 8), pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores, licopeno, DPPH e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no molho fabricado com tomates semi-hidropônico em comparação ao produto de tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de vitamina C e flavonoides foram estatisticamente superiores no molho de tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Observa-se ainda que a acidez titulável não foi influenciada significativamente pelo molho de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Abreu e Barcelos (2012) observaram aumento no teor de fenólicos totais em tomates submetidos ao processamento térmico através da cocção. O tratamento térmico favorece a liberação de compostos fenólicos da matriz celular, podendo aumentar seus conteúdos em tomates submetidos ao processamento térmico, melhorando o valor nutricional do tomate.

Para o tempo de 4 meses de armazenamento e o produto tomate seco (Tabela 8), pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de licopeno e DPPH foram estatisticamente superiores no catchup produzidos com tomates semi-hidropônico em comparação ao mesmo produto de tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de açúcares redutores e vitamina C foram estatisticamente superiores no molho fabricado com tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Além disso, os teores médios de flavonoides não foram influenciados significativamente pelo molho de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Considerando a análise no tempo de 6 meses de armazenamento para o produto catchup (Tabela 8), pode-se afirmar que acidez titulável e os teores médios de vitamina C, DPPH, flavonoides e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no produto produzido com tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Contudo, os teores médios de açúcares redutores, licopeno e vitamina C foram estatisticamente superiores no catchup de tomates orgânicos em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico.

Para o tempo de 6 meses de armazenamento e o produto molho de tomate (Tabela 8), pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de licopeno, DPPH, flavonoides e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no molho fabricado com tomates semi-hidropônico em comparação ao produto de tomates orgânicos. Porém, os teores médios de açúcares redutores e vitamina C não foram influenciados significativamente pelo molho originado de tomate orgânico e

semi-hidropônico.

Para o tempo de 6 meses de armazenamento e o produto tomate seco (Tabela 8), pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de licopeno e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no produto de tomates semi-hidropônico em comparação ao produto de tomates orgânicos. Entretanto, os teores médios de vitamina C e DPPH foram estatisticamente superiores no molho de tomates orgânico em comparação ao produto de tomates semi-hidropônico. Nota-se ainda que os teores médios de açúcares redutores e flavonoides não foram influenciados significativamente pelo molho de tomate orgânico e semi-hidropônico.

Barreto (2009) ao avaliar o efeito do processamento e da estocagem de polpa de tomate, constatou que a atividade antioxidante de produtos de tomate pode aumentar durante o processamento e se manter inalterada durante o armazenamento do produto por um ano.

Munhoz *et al.* (2011) observaram que em tomates secos o processamento térmico favoreceu o valor nutricional do produto pelo aumento do conteúdo de flavonóides disponíveis, os quais têm uma considerável atividade antioxidante.

Abreu e Barcelos (2012) tiveram aumento da atividade antioxidante do tomate durante o processamento térmico em métodos utilizados para avaliar a atividade antioxidante total (AAT), com valores de 43,7% e 68,4% nos tempos 30 e 75 minutos de processamento, respectivamente. Segundo os autores, no método do DPPH a AAT está fortemente associada ao teor de licopeno, β -caroteno e principalmente de compostos fenólicos.

De acordo com Barreto (2009), o processamento e a estocagem de polpa de tomate concentrada podem degradar substâncias mais sensíveis como o ácido ascórbico, porém os demais compostos antioxidantes não sofrem alterações significativas, e, para alguns deles, o efeito do processamento é benéfico, elevando seus teores.

Além dos processos térmicos realizados para obtenção e conservação dos produtos há os processos de corte, homogeneização, descascamento, entre outros. As evidências sugerem que tais processos podem promover a perda de compostos antioxidantes solubilizados na água livre liberada com o tratamento mecânico (Senna, Rodrigues e Badiale-Furlong, 2021). Lana *et al.* (2005) investigaram a capacidade antioxidante de tomates minimamente processados constando que os tecidos sofreram estresse oxidativo, causado pelos danos à membrana celular com

consequente alteração na composição e do conteúdo de compostos antioxidantes.

Os compostos antioxidantes do tomate também são estáveis durante a estocagem, tanto do produto *in natura* quanto dos produtos processados (Barreto, 2009), conforme relatado em diversos estudos. Toor e Savage (2006) verificaram que a estocagem de tomates a 7, 15 e 25°C por 10 dias não teve efeito prejudicial nos teores de fenólicos totais, flavonoides e ácido ascórbico e na atividade antioxidante destes compostos. Giovanelli *et al.* (2001) detectaram um pequeno aumento nos teores de fenóis totais em polpa e purê de tomate estocados a 40°C por 90 dias, sendo que, nesse mesmo estudo, não foram observadas alterações nos teores de fenóis totais em extrato de tomate. Já em um estudo de vida de prateleira Lavelli e Giovanelli (2003) observaram a degradação da rutina e um aumento nos teores de compostos fenólicos totais em extrato de tomate armazenado a 40°C por 90 dias e em polpa e extrato de tomate a 50°C pelo mesmo período. No entanto, não conseguiram estabelecer uma correlação entre os dois fenômenos.

As variáveis físico-químicas foram afetadas significativamente pela interação tripla, no cenário em que se avaliou desempenho das variáveis considerando diferentes produtos, cultivos e tempos (Tabela 9).

Tabela 9 - Análise do desdobramento dos produtos em cada combinação (tempo x cultivo) em diferentes variáveis segundo o Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tempos	Cultivos	Produtos	AR	LIC	AT	VITC	DPPH	FLA	CFT
0	Orgânico	Catchup	0,74a	0,18a	4,67a	6,70a	0,13a	0,35b	0,75b
		Molho	0,73a	0,15b	5,07a	5,88b	0,11b	0,81a	0,89a
		T. seco	0,64b	0,19a	5,03a	4,50c	0,09b	0,86a	0,40c
	S.-hidro	Catchup	0,47c	0,24a	5,70a	4,55b	0,14a	0,88a	0,87a
		Molho	0,97a	0,18b	5,70a	5,22a	0,13a	0,66b	0,89a
		T. seco	0,76b	0,25a	5,70a	3,93c	0,09b	0,65b	0,42b
2	Orgânico	Catchup	0,88a	0,26a	5,07a	6,82a	0,10a	0,54b	0,79a
		Molho	0,71b	0,19b	5,07a	6,04b	0,11a	0,93a	0,81a
		T. seco	0,55c	0,15c	5,07a	4,70c	0,09a	0,87a	0,40b
	S.-hidro	Catchup	0,44c	0,22b	5,70a	4,67b	0,14a	0,89a	0,89a
		Molho	0,97a	0,23a	5,77a	5,24a	0,12a	0,77b	0,91a
		T. seco	0,78b	0,20b	5,97a	3,83c	0,07b	0,67c	0,42b
4	Orgânico	Catchup	0,88a	0,24a	5,07b	6,35a	0,10a	0,53b	0,83a
		Molho	0,63c	0,20b	5,73a	6,10a	0,11a	0,93a	0,85a
		T. seco	0,79b	0,25a	5,13b	4,56b	0,09a	0,88a	0,42b
	S.-hidro	Catchup	0,46a	0,29a	5,70a	4,61b	0,14a	0,89a	0,88a
		Molho	0,94a	0,23b	5,33a	5,57a	0,13a	0,74b	0,91a
		T. seco	0,49a	0,30a	5,70a	4,37b	0,15a	0,84a	0,84a
6	Orgânico	Orgânico	0,48b	0,31a	5,13b	6,90a	0,11b	0,54b	0,46a
		S.-hidro	0,88a	0,24b	11,8a	4,27c	0,34a	0,80a	0,43a
		Orgânico	0,46b	0,20c	5,30b	5,83b	0,32a	0,90a	0,42a
	S.-hidro	S.-hidro	0,97a	0,27b	5,80b	4,54a	0,13b	0,88a	0,87a
		Molho	0,91a	0,28a	9,83a	4,16a	0,34a	0,92a	0,64b
		T. seco	0,52b	0,25b	5,8b	4,47a	0,14b	0,84a	0,88a

AR: Açúcar redutor (g/100g); AT: Acidez Titulável (g ácido cítrico/100g); LIC: Licopeno (mg/kg); VITC: Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g); DPPH: atividade antioxidante (% DPPH radical scavenging); FLA: Flavonóides (mg QE/100g); CFT: Compostos fenólicos totais (mg EAG/100g); . *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. NS não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: o próprio autor.

Para o tempo 0 de armazenamento no cultivo orgânico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores foram estatisticamente superiores nos produtos catchup e molho de tomate. Os teores médios de licopeno foram estatisticamente superiores no

catchup e tomate seco. Com relação a acidez titulável, não foram encontradas diferenças relacionadas com os produtos no cultivo orgânico. Os teores médios de vitamina C e DPPH foram estatisticamente superiores no catchup orgânico. Os teores médios de flavonoides foram estatisticamente superiores nos produtos molho e tomate seco, enquanto que, os teores médios de compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no produto molho de tomate.

Para o tempo 0 de armazenamento no cultivo semi-hidropônico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores foram estatisticamente superiores no produto molho de tomate. Os teores médios de licopeno foram estatisticamente superiores no catchup e tomate seco. Com relação a acidez titulável, não foram encontradas diferenças relacionadas com os produtos no cultivo orgânico. Os teores médios de vitamina C foram estatisticamente superiores no molho de tomate orgânico. Os teores médios de flavonoides foram estatisticamente superiores nos produtos molho e tomate seco, enquanto que, os teores médios de DPPH e compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no produto molho de tomate.

Para o tempo de 2 meses de armazenamento no cultivo orgânico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores foram estatisticamente superiores no catchup. Os teores médios de licopeno foram estatisticamente superiores no catchup. Com relação a acidez titulável, não foram encontradas diferenças relacionadas com os produtos no cultivo orgânico. Os teores médios de vitamina C e DPPH foram estatisticamente superiores no catchup orgânico. Os teores médios de flavonoides foram estatisticamente superiores nos produtos molho e tomate seco, enquanto que, os teores médios de compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no produto molho de tomate.

Para o tempo de 2 meses de armazenamento no cultivo semi-hidropônico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores e licopeno foram estatisticamente superiores no produto molho. Com relação a acidez titulável e DPPH, não foram encontradas diferenças relacionadas com os produtos no cultivo orgânico. Os teores médios de vitamina C foram estatisticamente superiores no molho de tomate orgânico. Os teores médios de flavonoides foram estatisticamente superiores no catchup, enquanto que, os teores médios de compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no

catchup e no molho de tomate.

Para o tempo de 4 meses de armazenamento no cultivo orgânico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores foram estatisticamente superiores no catchup. Os teores médios de licopeno foram estatisticamente superiores no catchup e no tomate seco. Com relação a acidez titulável, os valores médios encontrados no molho foram estatisticamente superiores aos dos demais produtos. Os teores médios de vitamina C foram estatisticamente superiores no catchup e no molho orgânico. Os teores médios de DPPH não foram influenciados significativamente pelos produtos no cultivo orgânico. Os teores médios de flavonoides foram estatisticamente superiores nos produtos molho e tomate seco, enquanto que, os teores médios de compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no catchup e no molho de tomate.

Para o tempo de 4 meses de armazenamento no cultivo semi-hidropônico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que a acidez titulável e os teores médios de açúcares redutores, DPPH e compostos fenólicos totais não foram influenciados significativamente pela geração dos diferentes produtos. Os teores médios de licopeno e flavonoides foram estatisticamente superiores no catchup e tomate seco, enquanto que, os teores médios de vitamina C foram estatisticamente superiores no molho de tomate.

Para o tempo de 6 meses de armazenamento no cultivo orgânico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de açúcares redutores foram estatisticamente superiores no molho de tomate. Os teores médios de licopeno foram estatisticamente superiores no catchup. Com relação a acidez titulável, os valores médios encontrados no molho foram estatisticamente superiores aos dos demais produtos. Os teores médios de vitamina C foram estatisticamente superiores no catchup. Os teores médios de DPPH e flavonoides foram estatisticamente superiores no molho e no tomate seco. Enquanto que os teores médios de compostos fenólicos totais não foram influenciados pelos diferentes produtos.

Para o tempo de 6 meses de armazenamento no cultivo semi-hidropônico (Tabela 9), considerando-se os diferentes produtos, pode-se afirmar que os teores médios de vitamina C e flavonoides não foram influenciados significativamente nos produtos catchup, molho e tomate seco. A acidez titulável, os teores médios de licopeno e DPPH foram estatisticamente superiores no molho de tomate, enquanto

que, os teores médios de compostos fenólicos totais foram estatisticamente superiores no catchup e tomate seco. Os teores médios de açúcares redutores foram estatisticamente superiores no catchup e tomate seco.

De acordo com Chang *et al.* (2006) os processos de secagem de tomate podem aumentar ou diminuir os teores de flavonoides totais e compostos fenólicos totais dependendo do tipo de secagem e da temperatura utilizada. A secagem do tomate, tanto em alta quanto em baixa temperatura, pode levar a um aumento significativo nos teores de compostos fenólicos totais e flavonoides totais. Provavelmente o aumento nos teores de compostos fenólicos totais ocorra devido à liberação desses compostos da matriz. Os autores consideraram que o processamento pode acelerar a liberação de mais compostos fenólicos a partir do rompimento dos constituintes celulares. Assim, o aumento no teor de flavonoides totais pode ser explicado por muitas reações bioquímicas que ocorrem na polpa e na casca do tomate durante o processo de secagem.

A atividade antioxidante total de um alimento pode ser maior ou menor que a soma da atividade antioxidante de cada composto avaliado separadamente. Além disso, a AAT varia substancialmente com as concentrações dos extratos e solventes utilizados para extração dos compostos antioxidantes, o que dificulta a comparação entre os estudos (Kuskosk *et al.*, 2006).

As condições de cultivo e outros fatores ambientais podem influenciar as propriedades físico-químicas dos tomates, que, por sua vez, impactam o teor de carotenoides, como o licopeno, nos produtos finais à base de tomate (Wu, Yu e Pehrsson, 2022).

3.2.1 DESDOBRAMENTO DO TEMPO EM CADA NÍVEL DE CULTIVO X PRODUTO

Também foi avaliado o desdobramento do tempo em cada nível da combinação cultivo e produto. Foram ajustados modelos de regressão linear e quadrática para as variáveis físico-químicas com exceção do pH, visto que, não foram encontradas diferenças significativas na interação tripla.

3.5.1 Açúcares Redutores

Não foram encontradas diferenças significativas nas análises de variância do

desdobramento em que se isolou o tempo e avaliou os produtos catchup e molho de tomate. Contudo, com relação ao tomate seco no cultivo hidropônico, foi ajustado o modelo de regressão linear, enquanto que, a avaliação dos açúcares redutores do tomate seco ao longo do tempo de armazenamento em cultivo orgânico foi melhor explicada pelos modelos de regressão quadrática. O comportamento dos modelos pode ser observado no Gráfico 3.

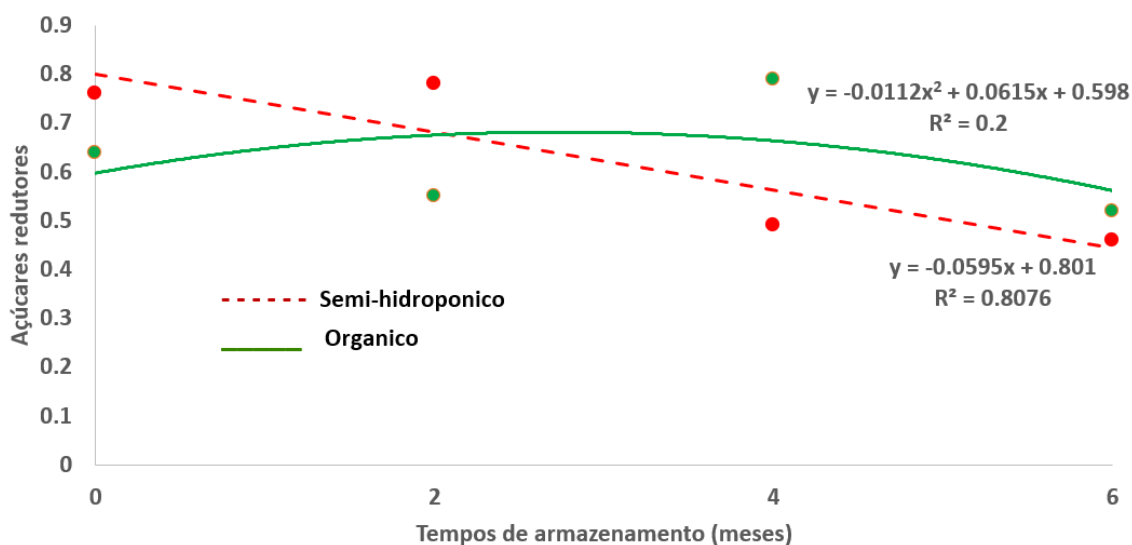


Gráfico 3 - Variação dos teores de açúcares redutores (g/100g) ao longo dos meses de armazenamento para tomate seco nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.

Fonte: o próprio autor.

Com relação ao tomate seco orgânico, pode-se afirmar que os maiores teores médios de açúcares redutores foram encontrados 4 meses após o armazenamento do produto. Entretanto, nos tomates secos de tomates produzidos em cultivo semi-hidropônico, os maiores teores de açúcares redutores foram encontrados no primeiro tempo de armazenamento. Além disso, nota-se que à medida que aumentam os tempos de armazenamento, ocorrem decréscimos de 0,0595 g/100g no tomate seco semi-hidropônico (Gráfico 3).

3.5.2 Licopeno

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância do desdobramento ao se isolar o tempo e se variar todos os níveis de cultivos e produtos.

Desta forma, foi possível realizar o ajuste da regressão para todos os cultivos e todos os produtos avaliados. O modelo de regressão linear foi o mais adequado para explicar a variação dos teores de licopeno dos produtos ao longo dos tempos de armazenamento no cultivo semi-hidropônico e orgânico, sendo que o comportamento do modelo pode ser visto no Gráfico 4 e suas equações na Tabela 10.

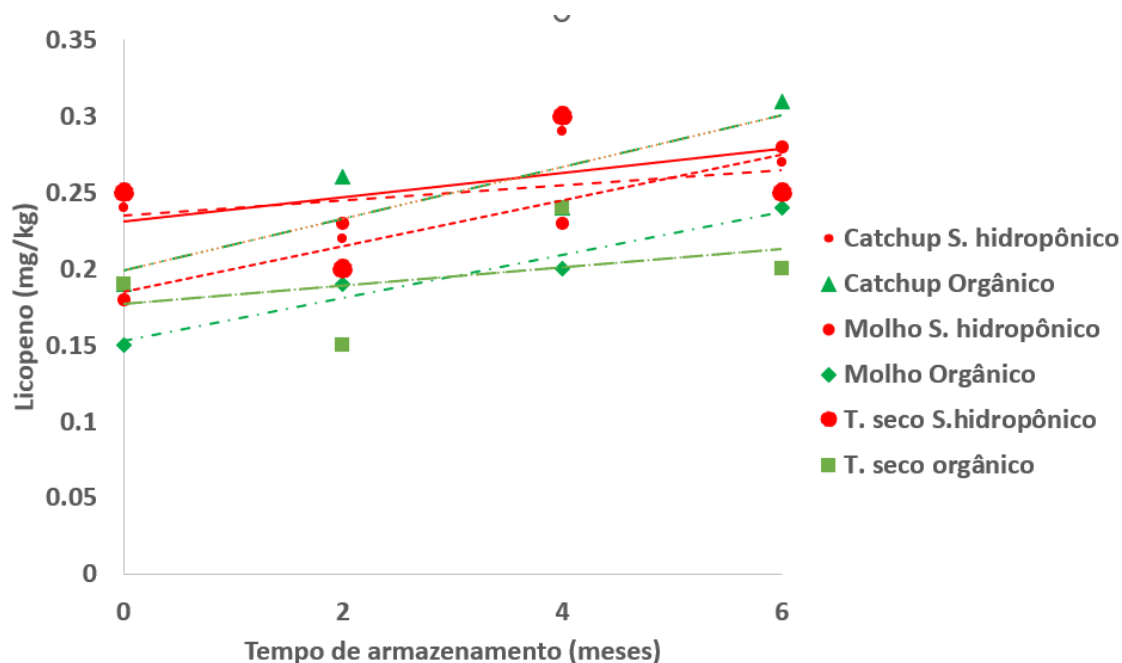


Gráfico 4 - Variação dos teores de licopeno (mg/kg) ao longo dos meses de armazenamento para catchup, molho de tomate e tomate seco nos cultivos orgânico e semi-hidropônico.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 10 - Equações de regressão para teores de licopeno em diferentes produtos de tomate em função de tempos de armazenamento.

Produto	Equação	R ²
Catchup semi-hidropônico	$y = 0.008x + 0.231$	0.4414
Catchup orgânico	$y = 0.017x + 0.199$	0.7811
Molho semi-hidropônico	$y = 0.015x + 0.185$	0.9
Molho orgânico	$y = 0.014x + 0.153$	0.9561
Tomate seco semi-hidropônico	$y = 0.005x + 0.235$	0.1
Tomate seco orgânico	$y = 0.006x + 0.177$	0.1756

Fonte: o próprio autor.

Pode-se afirmar que independente dos cultivos e dos produtos, o teor de

licopeno apresenta acréscimos a medida em que aumentam os tempos de armazenamento dos produtos (Gráfico 4).

Para o catchup orgânico, a cada mês de armazenamento, o teor de licopeno tem acréscimo de 0,017 mg/kg. Com relação ao molho de tomate orgânico, este acréscimo ao teor de licopeno é de 0,014 mg/kg, enquanto que, para o tomate seco orgânico, a cada mês de armazenamento, o teor de licopeno no produto teve incremento de 0,006 mg/kg.

Quando ao catchup semi-hidropônico, a cada mês de armazenamento, o teor de licopeno tem acréscimo de 0,008 mg/kg. Com relação ao molho de tomate, este acréscimo ao teor de licopeno é de 0,015 mg/kg, enquanto que, para o tomate seco orgânico, a cada mês de armazenamento, o teor de licopeno no produto tem incremento de 0,005 mg/kg.

Embora Sharma e Le Maguer (1996) afirmem que durante o processo de aquecimento da polpa de tomate para produzir produtos, como o catchup, molho e extratos de tomate ocorra a degradação do licopeno e outros carotenóides, mesmo que estes sejam compostos considerados como relativamente estáveis, os produtos de catchup, molho e tomate seco produzidos de diferentes cultivos neste estudo, apresentaram comportamento contrário com os valores de licopeno apresentando aumento ao longo do período de armazenamento.

Por sua vez, Caseiro *et al.* (2020) afirmam que a biodisponibilidade do licopeno é menor em fontes não processadas do que em alimentos processados termicamente.

Os produtos elaborados tiveram desempenho semelhante ao relatado por Abreu e Barcelos (2012) ao afirmarem que o tratamento térmico promove aumento do teor de licopeno, principal antioxidante do tomate. A esse respeito, de acordo com Barcelos *et al.* (2019) o processamento térmico de tomates pode influenciar positivamente na disponibilidade dos carotenoides.

O aumento do teor de licopeno observado em produtos derivados do tomate, como extratos e molhos, deve-se segundo Periago *et al.* (2005), à ação da temperatura que favorece a ruptura das paredes celulares, aumentando a disponibilidade do licopeno livre. Além disso, durante o processamento do tomate ocorre redução da umidade, aumentando a concentração do licopeno. Para Abreu e Barcelos (2012), o aumento observado no teor de licopeno pode ser atribuído à relativa estabilidade destes compostos ao aquecimento.

O processamento térmico em condições domésticas aumenta a atividade

antioxidante total da polpa de tomate e os teores de carotenóides, principalmente o licopeno (Abreu; Barcelos, 2012). A concentração de carotenoides em matérias-primas é variável, dependendo de fatores como cultivar, variedade, maturidade na colheita, clima, local geográfico de produção, estação do ano, condições durante a produção agrícola, manuseio pós-colheita, processamento e condições de armazenamento (Rodriguez-Amaya *et al.*, 2008).

A esse respeito, em revisão de literatura realizada por Wu, Yu e Pehrsson (2022), os autores relataram que os dados disponíveis sobre os efeitos do processamento industrial nos carotenoides são inconsistentes e, por vezes, contraditórios, tendo em vista que após o processamento do tomate em pasta, observou-se um aumento no teor de licopeno em dois estudos, uma diminuição em outros dois estudos e a sua inalteração em quatro estudos analisados. Para tanto, a discrepância dos dados segundo os autores, pode ser explicada quanto aos tipos de carotenoides como pelo método e condições de processamento.

A estabilidade térmica dos carotenoides é determinada por suas estruturas químicas e pela localização no compartimento celular de tomates não processados, ou seja, em tomates crus, a forma linear *all-trans* do licopeno se agrega em estruturas cristalinas localizadas dentro dos cromoplastos, o que confere ao licopeno maior estabilidade térmica (Colle *et al.*, 2010), enquanto o β -caroteno parece ser menos estável ao tratamento térmico (Arballo, Amengual e Erdman, 2021). Por sua vez, o método e as condições de processamento (tempo, temperatura, método de descascamento) impactam enormemente os carotenoides em produtos de tomate. Temperaturas de processamento mais altas e tempos de processamento mais longos geralmente estão associados a maiores perdas de licopeno (Jacok *et al.*, 2010).

O licopeno, principal componente entre os carotenoides em tomates vermelhos, é o constituinte mais estudado dos tomates, em termos de potenciais benefícios para a saúde, com atividades antioxidante e anticâncer confirmadas, biodisponibilidade e mudanças que ocorrem durante o amadurecimento da fruta e processamento subsequente. De fato, o tomate e os alimentos à base de tomate são conhecidos como as principais fontes de ingestão de carotenoides na maioria dos países (Salehi *et al.*, 2019).

3.5.3 Acidez Titulável

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância do desdobramento quando se isolou o tempo e se avaliou molho de tomate nos cultivos semi-hidropônicos e orgânicos. Assim, foi possível ajustar modelos de regressão para o molho de tomate no cultivo semi-hidropônico e orgânico, sendo que, o modelo de regressão quadrática mostrou-se como o mais adequado para explicar a variação da acidez titulável, ao longo do tempo de armazenamento, como colocado no Gráfico 5.

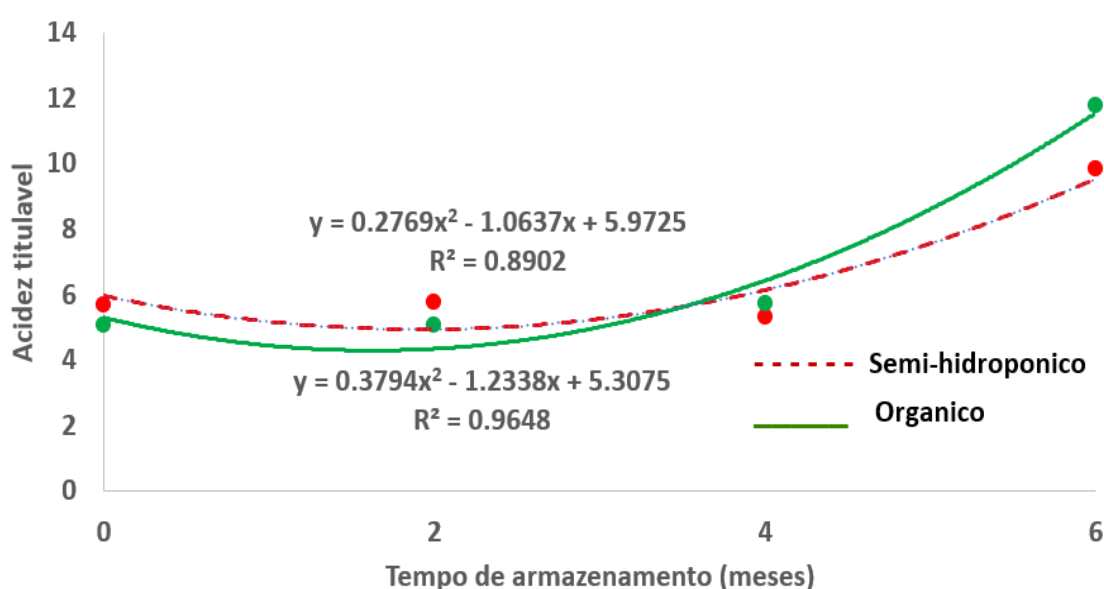


Gráfico 5 - Variação dos teores de acidez titulável (g ácido cítrico/100 g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.

Fonte: o próprio autor.

Com relação ao molho de tomate semi-hidropônico, pode-se afirmar que o produto alcança as maiores médias de acidez titulável com 6 meses de armazenamento. Entretanto, considerando o molho de tomate orgânico, pode-se dizer que a acidez titulável diminui até o período de aproximadamente 1,63 meses de armazenamento (aproximadamente 49 dias), em que se atingiu a acidez titulável mínima de 4,3 g ácido cítrico/100 g, sendo que em períodos superiores a estes, a acidez titulável aumenta até alcançar o valor aproximado de 11,8 g ácido cítrico/100 g em 6 meses de armazenamento do molho de tomate (Gráfico 5).

Os valores encontrados no presente estudo estão parcialmente de acordo com os observados por Melo *et al.* (2012), ao caracterizarem molho de tomate para pizza. Os autores obtiveram valores de AT entre 1,84 e 4,35 g ácido cítrico/100 g para molhos conservados em temperatura ambiente e 2,43 e 5,02 g ácido cítrico/100 g para molhos conservados em refrigeração, para o período de armazenamento de 28 dias.

Silva *et al.* (2024) ao caracterizarem molhos agri doces de tomate, encontraram valores inferiores para AT, sendo 1,66 g de ácido cítrico/100g em molho de tomate (tratamento controle) e 1,31 g de ácido cítrico/100 g de molho de tomate com abóbora.

3.5.4 Vitamina C

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância do desdobramento quando se isolou o tempo e se avaliou molho de tomate e tomate seco nos cultivos semi-hidropônicos e orgânicos. Desta forma, foram ajustados modelos de regressão para avaliar o comportamento dos teores de vitamina C ao longo dos tempos de armazenamento dos produtos para os produtos molho e tomate seco nos cultivos orgânico e semi-hidropônico. Com relação ao molho de tomate, foram ajustados modelos de regressão linear e quadrática para se verificar o comportamento da vitamina C nos cultivos hidropônico e orgânico, respectivamente. Contudo, a avaliação da vitamina C no tomate seco ao longo do tempo de armazenamento e nos diferentes cultivos foi explicada pelo modelo de regressão quadrática. No gráfico 6, pode-se observar o comportamento do modelo e na Tabela 11 as equações de regressão.

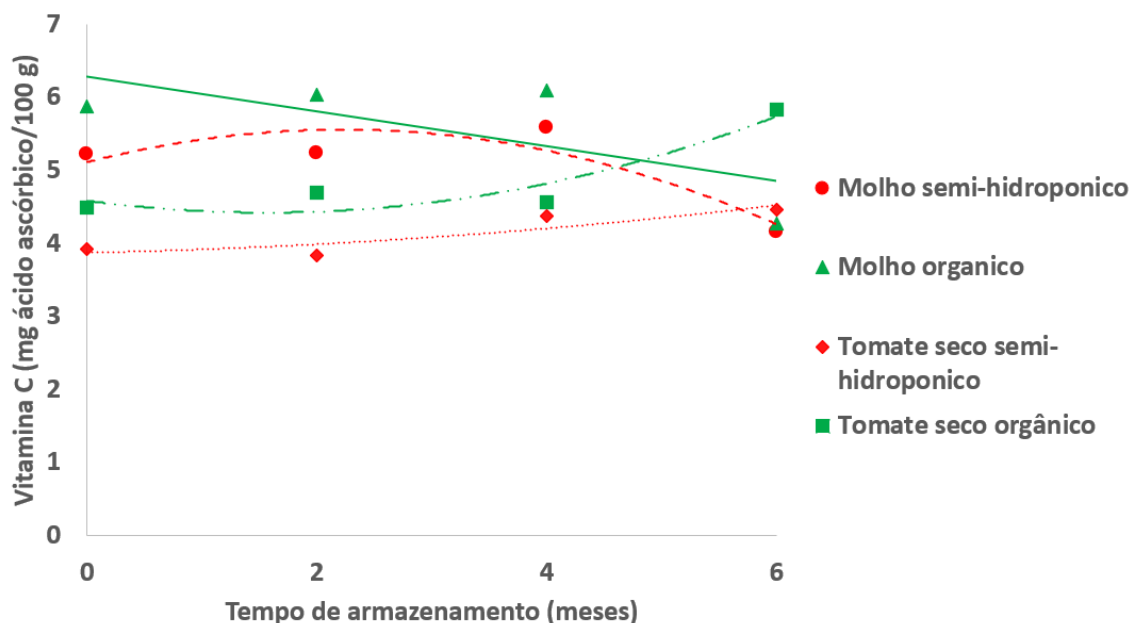


Gráfico 6 - Variação dos teores de vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate e tomate seco orgânico e semi-hidropônico.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 11 – Equações de regressão para vitamina C em diferentes produtos de tomate em função de tempos de armazenamento.

Produto	Equação	R ²
Molho semi-hidropônico	$y = -0.0906x^2 + 0.4023x + 5.1145$	0.8062
Molho orgânico	$y = -0.2385x + 6.288$	0.4972
Tomate seco semi-hidropônico	$y = 0.0125x^2 + 0.033x + 3.876$	0.8066
Tomate seco orgânico	$y = 0.0669x^2 - 0.2087x + 4.5875$	0.8703

Fonte: o próprio autor.

Com relação ao molho de tomate produzido com tomates cultivados em sistema semi-hidropônico, pode-se afirmar que os teores de vitamina C aumentam até 4 meses de armazenamento do molho de tomate, sendo que, em períodos posteriores a este a vitamina C sofre redução. Com relação ao molho de tomate orgânico, pode-se afirmar que a cada mês de armazenamento, o teor de vitamina C do molho sofreu decréscimos de 0,2385 mg ácido ascórbico/100 g (Gráfico 6).

Comportamento semelhante foi encontrado por Melo *et al.* (2012) ao caracterizar molho de tomate para pizza, constatando que a vitamina C foi degradada ao longo do armazenamento, sendo que molhos armazenados em temperatura

ambiente tiveram diminuição dos teores de 4,35 mg/g no tempo 0 dias de fabricação para 1,84 mg/g no tempo 28 dias de fabricação. Os autores observaram ainda que o mesmo comportamento ocorreu em molhos armazenados em temperatura de refrigeração, com valores de vitamina C de 5,02 mg/g no tempo 0 dia de fabricação e valor de 2,43 mg/g aos 28 dias de fabricação.

Sabe-se que a vitamina C é uma das vitaminas mais instáveis nos alimentos e pode ser perdida significativamente durante o processamento térmico (Wu, Yu e Pehrsson, 2022). O processamento térmico reduziu significativamente o teor de vitamina C em produtos de tomate nos estudos de Jacob *et al.* (2010); Georgé *et al.*, (2011) em liofilização de tomates; Capanoglu *et al.*, (2008) e Koh, Charoenprasert e Mitchell (2012) em desenvolvimento de pasta de tomate.

Abreu e Barcelos (2012) também observaram diminuição nos teores de vitamina C na polpa de tomate submetida ao processamento térmico doméstico em relação à amostra controle. Os autores tiveram redução de 62,5% no teor de vitamina C após 15 minutos de cocção, passando de 20,0 para 7,5 mg.100g⁻¹. A redução de Vitamina C em produtos de tomate submetidos à cocção, pode estar associada à diminuição do teor de água da polpa que concentra a vitamina C e à redução do pH que pode melhorar sua estabilidade. A vitamina C é um composto químico termolábil e estudos mostram o declínio no teor de vitamina C em tomates processados termicamente (Ilahy *et al.*, 2015).

Com relação ao tomate seco hidropônico, pode-se dizer que os teores de vitamina C diminuem até aproximadamente 1,32 meses (40 dias), em que atinge o teor mínimo de 3,94 mg ácido ascórbico/100 g, sendo que em períodos superiores a 40 dias os teores de vitamina C do produto aumentam, e em 6 meses após o armazenamento o tomate seco hidropônico apresenta aproximadamente 4,47 mg ácido ascórbico/100 g. Além disso, considerando tomate seco orgânico, pode-se afirmar que de 2 a 4 meses após o armazenamento do produto, o teor de vitamina C sofre redução. Contudo, após esse período, ocorreram aumentos no teor de vitamina C chegando ao valor aproximado de 5,83 mg ácido ascórbico/100 g.

Munhoz *et al.* (2011) através de análises físico-químicas, quantificaram vitamina C em tomate seco obtendo valor de 16,7 mg ácido ascórbico/100g do produto, sendo assim um teor maior ao obtido no presente estudo.

Lavelli *et al.* (1999) observaram retenção de ácido ascórbico em torno de 12% em tomates desidratados a 80°C por 7 horas.

A secagem por ar quente é o método mais amplamente utilizado para a produção de frutas e legumes desidratados devido aos baixos custos de investimento e operação. Porém, a temperatura de secagem do produto é considerada uma etapa crítica, pois pode induzir alterações significativas nos componentes químicos e bioativos dos alimentos e nas propriedades físicas (cor e estrutura), além de deterioração dos compostos bioativos, obtendo-se um produto de qualidade nutricional reduzida (Kaur, Kaur e Ahluwalia, 2019).

3.5.5 DPPH

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância do desdobramento quando se isolou o tempo e se avaliou molho de tomate e tomate seco nos cultivos semi-hidropônicos e orgânicos. Desta forma, foram ajustados modelos de regressão para avaliar o comportamento dos teores de DPPH ao longo dos tempos de armazenamento dos produtos para os produtos molho e tomate seco nos cultivos orgânico e semi-hidropônico. Com relação ao molho de tomate, foram ajustados modelos de regressão linear e quadrática para se verificar o comportamento de DPPH nos cultivos semi-hidropônico e orgânico, respectivamente. Contudo, a avaliação de DPPH no tomate seco ao longo do tempo de armazenamento e nos diferentes cultivos foi explicada pelo modelo de regressão quadrática. No gráfico 7, pode-se observar o comportamento dos modelos e na Tabela 12 as equações de regressão.

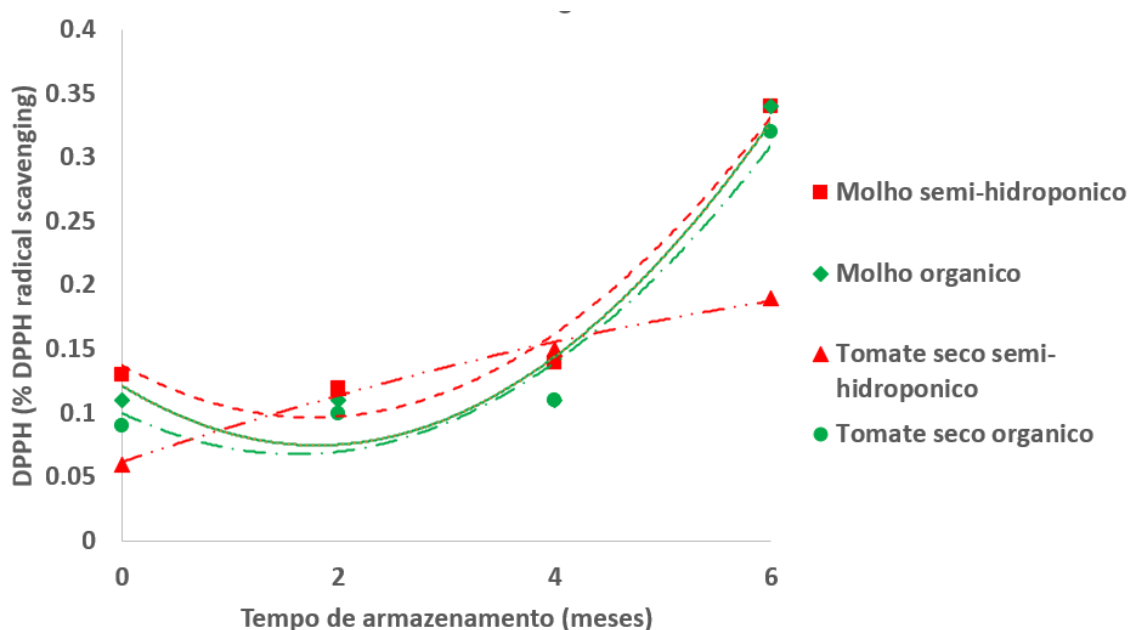


Gráfico 7 - Variação dos teores de DPPH (% DPPH radical scavenging) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate e tomate seco orgânico e semi-hidropônico.

Fonte: o próprio autor.

Tabela 12 - Equações de regressão para DPPH em diferentes produtos de tomate em função de tempos de armazenamento.

Produto	Equação	R ²
Molho semi-hidropônico	$y = 0.0131x^2 - 0.0463x + 0.1375$	0.9662
Molho orgânico	$y = 0.0144x^2 - 0.0518x + 0.1215$	0.9333
Tomate seco semi-hidropônico	$y = 0.021x + 0.067$	0.98
Tomate seco orgânico	$y = 0.0125x^2 - 0.04x + 0.1$	0.9452

Fonte: o próprio autor.

Com relação ao molho de tomate orgânico, pode-se dizer que o teor de DPPH sofreu reduções até aproximadamente 1,76 meses (53 dias), onde se atinge o teor mínimo de aproximadamente 0,097 (% DPPH radical scavenging), sendo que em períodos posteriores a 53 dias, o teor de DPPH aumenta até atingir aproximadamente 0,34 (% DPPH radical scavenging) com 6 meses de armazenamento do produto. Comportamento semelhante foi obtido na análise do molho de tomate semi-hidropônico, sendo que o teor de DPPH diminui até aproximadamente 1,8 meses (54 dias), em que se atinge o valor mínimo de 0,075 (% DPPH radical scavenging), sendo que em períodos posteriores a 54 dias, o teor de DPPH do molho aumenta até atingir

o valor aproximado de 0,34 (% DPPH radical scavenging) em 6 meses de armazenamento.

Considerando o tomate seco semi-hidropônico, pode-se dizer que o teor de DPPH tem acréscimos de 0,021 (% DPPH radical scavenging) a cada mês de armazenamento do produto, sendo que, em 6 meses de armazenamento, o teor de DPPH é de aproximadamente 0,19 (% DPPH radical scavenging). Em relação ao tomate seco orgânico, o teor de DPPH sofreu redução até aproximadamente 1,6 meses (48 dias) de armazenamento onde se atinge o teor mínimo de 0,068 (% DPPH radical scavenging), sendo que, em períodos posteriores a 48 dias, o teor de DPPH no produto tem sucessivos incrementos até atingir o valor total de 0,32 (% DPPH radical scavenging) em 6 meses de armazenamento.

A atividade antioxidante, avaliada pelo método DPPH, apresentou diferença na avaliação de molho de tomate e tomate seco nos cultivos semi-hidropônicos e orgânicos. Embora esses resultados se refiram aos produtos processados, o comportamento pode ser visto como semelhante em frutos, a exemplo do estudo em outros trabalhos. El-Mergawi e Al-Redhaiman (2010) investigando a capacidade antioxidante, os componentes antioxidantes e o valor nutricional de amostras orgânicas e convencionais de frutos de tomate, coletadas em mercados na Arábia Saudita, verificaram valores mais elevados de atividade antioxidante e componentes antioxidantes em frutos orgânicos em comparação com os convencionais, constatando que os constituintes nutricionais do tomate variaram em resposta ao método de produção.

Apesar de o método de determinação da atividade antioxidante total utilizando o radical DPPH• ser considerado um recurso fácil e preciso, o uso de protocolos diferentes em várias pesquisas dificulta a comparação dos resultados (Sharma; Bhat, 2009). A esse respeito, Burgos *et al.* (2013) colocam que os métodos de análise utilizados para determinar a atividade antioxidante em alimentos, podem influenciar a quantidade final dos antioxidantes, bem como os solventes utilizados na extração desses compostos, repercutindo na determinação da atividade antioxidante.

Ainda com relação aos teores que frutos e produtos processados de tomate podem apresentar, a capacidade antioxidante de frutos pode ser afetada por diversos fatores, tais como cultivar, condições agronômicas, manipulação pós-colheita e estágio de maturação (Kevers *et al.*, 2007). Por sua vez, a quantidade de antioxidantes em tomates frescos pode ser afetada por diversos fatores, tais como estágio de

maduração, processamento, condições climáticas e época de colheita (Raffo *et al.*, 2002).

Arce-Amezquita *et al.* (2019) ao determinar o valor nutricional, através da atividade antioxidante de tomates, pimentões, frutas cítricas e hortaliças folhosas, em cultivos convencional, silvestre e orgânico, verificaram que os resultados evidenciam que o método de produção tem uma função importante sobre o valor nutricional de vegetais.

Em muitas situações, o processamento térmico reduz o valor nutricional e o potencial benéfico dos alimentos. No entanto, em relação ao tomate neste estudo, foi observado melhora do seu potencial antioxidante com o processamento térmico semelhante ao praticado no ambiente doméstico. Para o consumidor, a cocção do tomate é uma opção interessante de consumo deste fruto, pois além das características sensoriais agradáveis ao paladar, o tomate processado termicamente no ambiente doméstico poderá apresentar maiores benefícios à saúde (Abreu; Barcelos, 2012).

Estudos têm relatado o aumento da atividade antioxidante total em tomates processados, decorrente das condições de tempo e temperatura utilizadas no seu processamento (Barcelos *et al.*, 2019).

Takeoka *et al.* (2001) observaram atividade antioxidante em três amostras estudadas, tomate cru *in natura*, suco após ser escaldado a quente com sementes e peles, e pasta de tomate processada, sendo esta última a que apresentou a maior atividade antioxidante. Os autores desconhecem as razões do aumento da atividade antioxidante, mas sugerem que pode estar relacionada à produção de novos antioxidantes durante o processamento.

Gahler *et al.* (2003) também obtiveram resultados semelhantes, ao estudar a capacidade antioxidante de suco de tomate, tomate assado, molho de tomate e sopa de tomate, onde constataram um aumento na concentração total de fenóis e na capacidade antioxidante solúvel em água, nos produtos de tomate. Provavelmente o aumento da capacidade antioxidante hidrofílica se baseia principalmente no aumento dos compostos fenólicos ou ainda, devido a formação de produtos Maillard, que são substâncias antioxidantes ativas, formadas a altas temperaturas, que podem equilibrar a perda de vitamina C ou até mesmo levar a um aumento da capacidade antioxidante hidrofílica.

Dewanto *et al.* (2002) também obtiveram resultados semelhantes ao do

presente trabalho ao estudarem o efeito do processamento sobre o valor nutricional e atividade antioxidante de amostras de tomates: pasta de tomate (controle); pasta de tomate cozida a 88°C/2 minutos; pasta de tomate cozida a 88°C/15 minutos e, pasta de tomate cozida a 88°C/30 minutos. Os autores obtiveram resultados que mostraram que o teor de licopeno e a atividade antioxidante total aumentaram significativamente com o processamento térmico e atribuíram o aumento da atividade antioxidante total dos tomates processados termicamente, ao aumento da quantidade de licopeno e a outros fitoquímicos conjugados, que foram liberados da matriz com o processamento térmico a 88°C, aumentando assim o valor nutricional dos tomates ao aumentar o teor de licopeno bioacessível e a atividade antioxidante total.

Em estudo realizado por Santana-Neta (2014), onde a desidratação adiabática (estufa de ventilação forçada) foi utilizada, também observou-se que as concentrações de compostos funcionais (antioxidantes e fenólicos) em amostras de jenipapos foram preservadas. Essa forma de desidratação foi semelhante à aplicada nos tomates do presente estudo na produção de tomate seco.

3.5.6 Flavonoides

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância do desdobramento quando se isolou o tempo e se avaliou molho de tomate nos cultivos semi-hidropônicos e orgânicos. Sendo assim, foram ajustados modelos de regressão para avaliar o comportamento dos teores de flavonoides ao longo dos tempos de armazenamento para o molho de tomate nos cultivos orgânico e semi-hidropônico. O modelo de regressão linear explica as variações dos flavonoides em função do tempo de armazenamento no cultivo semi-hidropônico, enquanto que, o modelo de regressão quadrática explica as variações dos flavonoides em função do tempo de armazenamento no cultivo orgânico, sendo que o comportamento dos modelos utilizados pode ser visto no Gráfico 8.

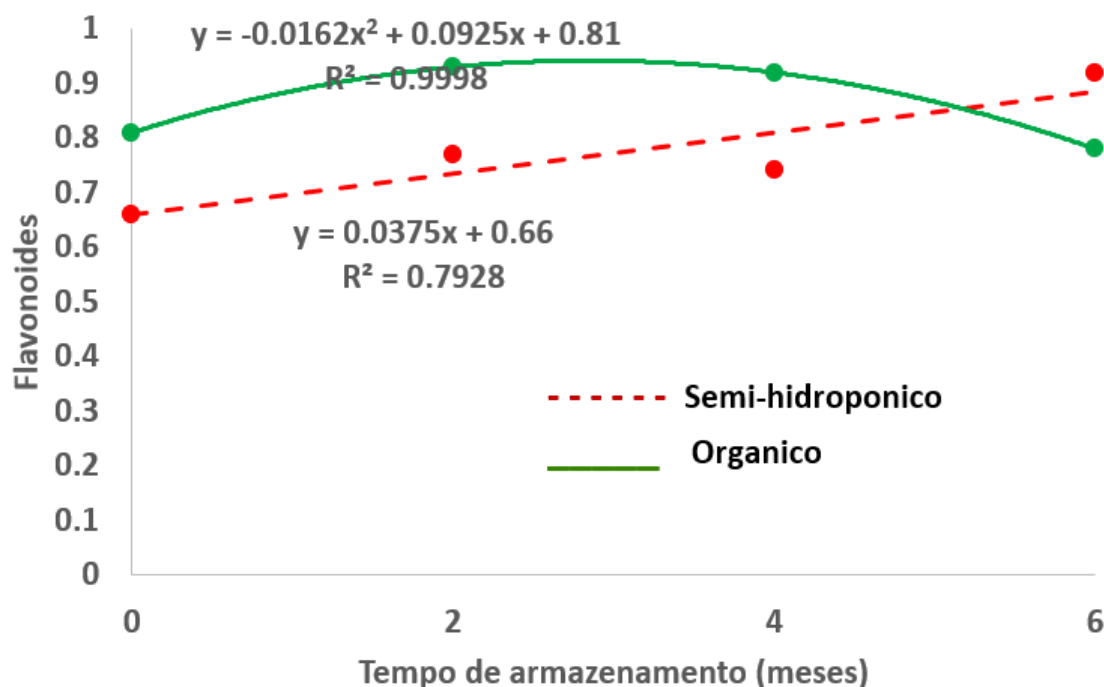


Gráfico 8 - Variação dos flavonoides (mg QE/100g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.

Fonte: o próprio autor.

Com relação ao molho de tomate orgânico, pode-se dizer que o teor de flavonoides aumenta até o tempo de armazenamento de 2,85 meses (aproximadamente 86 dias) onde se alcança o teor máximo de 1,02 mg QE/100g. Em períodos posteriores a 86 dias, o teor de flavonoides sofreu reduções até se obter em 6 meses, após o armazenamento do produto, o teor de 0,78 mg QE/100g. Para o molho de tomate semi-hidropônico pode-se afirmar que a cada mês de armazenamento do produto, o teor de flavonoides tem acréscimos de 0,0375 mg QE/100g, sendo que, em 6 meses após o armazenamento, tem-se um teor de 0,92 mg QE/100g (Gráfico 8).

Segundo Burgos *et al.* (2013), a capacidade antioxidante em alimentos é afetada por diferentes fatores, incluindo a variedade e ambiente de produção.

O processamento do tomate inclui tratamentos térmicos que normalmente são realizados para fornecer inativação microbiológica e enzimática, garantindo a segurança do consumidor e prolongando a vida útil do produto. Essas estratégias de produção com diversas etapas consecutivas (incluindo tratamentos térmicos), têm um alto potencial para afetar o valor nutricional do produto final. A maioria das etapas de

processamento industrial inclui um ou mais tratamentos térmicos, que variam de moderado a severo. No entanto, o calor pode afetar adversamente as qualidades sensorial e nutritiva dos derivados do tomate devido às reações de co-oxidação de carotenóides, ativação da reação de Maillard e oxidação de ácidos graxos poliinsaturados, todos afetando o perfil de compostos voláteis, teor de antioxidantes naturais (Kaur; Kapoor, 2001).

Os flavonoides do tomate são resistentes aos processos industriais, sendo encontrados em diversos produtos processados (Stewart *et al.*, 2000). Estudos mostraram que os flavonoides se mantêm estáveis durante o processamento, e, em alguns casos, foi observado um aumento nos teores desses compostos (Gahler *et al.*, 2003; Capanoglu *et al.*, 2008).

O tratamento térmico aumenta o teor de licopeno, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e o teor de quercetina, rutina e ácidos clorogênico e cafeico (Wu, Yu e Pehrsson, 2022). Os flavonoides e outros compostos fenólicos são importantes compostos bioativos em frutas e vegetais. Sua disponibilidade demonstrou ser influenciada por diversos métodos de processamento de alimentos (Ahmed; Eun, 2018). Quando tomates foram processados em pasta, o tratamento térmico demonstrou aumentar significativamente os fenólicos totais e os flavonoides totais (Jacob *et al.*, 2010).

3.6.7 Compostos fenólicos totais

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância do desdobramento quando se isolou o tempo e se avaliou molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico. Neste caso, o modelo de regressão quadrática mostrou-se como o mais adequado para explicar o comportamento do molho em função do armazenamento nos diferentes cultivos, podendo ser observado no Gráfico 9.

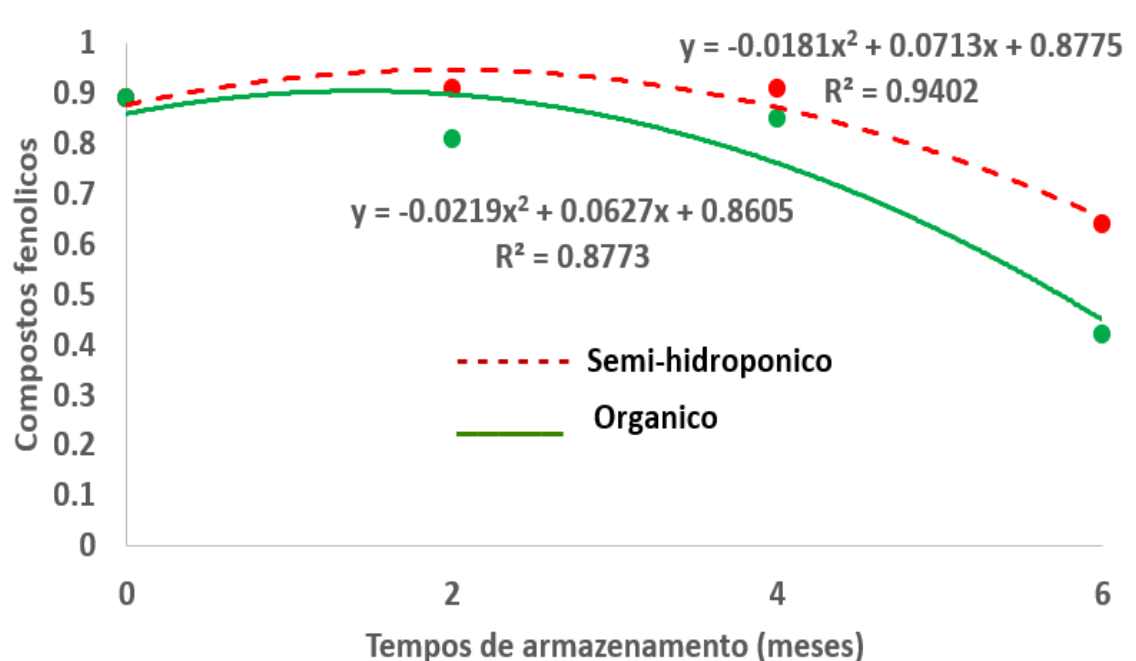


Gráfico 9 - Variação dos teores de compostos fenólicos totais (mg EAG/100g) ao longo dos meses de armazenamento para molho de tomate nos cultivos semi-hidropônico e orgânico.

Fonte: o próprio autor.

Com relação ao molho de tomate semi-hidropônico, pode-se dizer que o teor de compostos fenólicos totais aumenta até o tempo de armazenamento de 1,97 meses (aproximadamente 59 dias) onde se alcança o teor máximo de 0,95 mg EAG/100g. Em períodos posteriores a 59 dias, o teor de compostos fenólicos totais sofreram reduções, até obter em 6 meses após o armazenamento do produto, o teor de 0,64 mg EAG/100g. Comportamento semelhante foi observado também no molho de tomate orgânico, sendo que, o teor de compostos fenólicos totais aumenta até o tempo de armazenamento de 1,43 meses (aproximadamente 43 dias) onde alcança o teor máximo de 0,91 mg EAG/100g. Em períodos posteriores a 43 dias, o teor de compostos fenólicos totais sofreram reduções, até obter em 6 meses após o armazenamento do produto o teor de 0,42 mg EAG/100g (Gráfico 9).

Os compostos fenólicos e os carotenoides são os principais compostos biologicamente ativos presentes em tomates maduros (Salehi *et al.*, 2019). A presença de compostos fenólicos, ácido ascórbico e licopeno coloca o tomate entre os alimentos com alto potencial antioxidante (Djuric; Powell, 2003).

Semelhante aos carotenoides, os efeitos do processamento industrial sobre os

compostos fenólicos totais e individuais são inconsistentes (Jacob *et al.*, 2010). Os tipos e concentrações de compostos fenólicos nos tomates também variam com base nas cultivares, estágio de maturação, fatores ambientais e condições de cultivo (García-Valverde *et al.*, 2013).

Segundo Valderdú-Queralt *et al.* (2012), os compostos fenólicos são liberados de dentro das células quando são submetidos ao aquecimento brando e sofrem degradação com o aumento do tempo de exposição ao calor e a altas temperaturas. Além disso, essas moléculas podem sofrer oxidação, sendo rapidamente transformadas em outros compostos. Isso pode explicar o aumento dos teores de compostos fenólicos totais em molhos de tomate produzidos neste estudo, visto que os produtos foram expostos a altas temperaturas por um curto espaço de tempo (100°C, cerca de 30-40 minutos) durante a cocção. Esses processos podem ter contribuído para aumento da atividade antioxidante destes produtos.

Os resultados obtidos com a realização da análise sensorial estão ilustrados no Gráfico 10, com a análise descritiva de produtos de tomates (catchup, molho de tomate e tomate seco) cultivados em sistema orgânico e semi hidropônico.

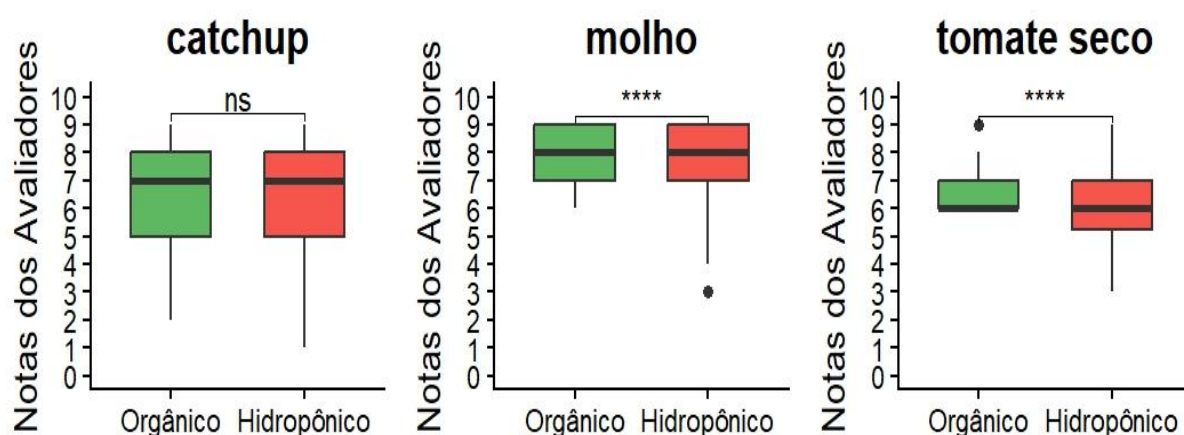


Gráfico 10 - Análise descritiva (Boxplot) de produtos de tomates (catchup, molho e tomate seco) cultivados em sistema de manejo orgânico e semi hidropônico. ^{ns} Não significativo e ^{****} significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste de Mann-Whitney U.

Os resultados do catchup (Gráfico 10) mostraram que não houve diferença estatística significativa na aceitação da análise sensorial, entre os produtos desenvolvidos com tomate orgânico e tomate semi hidropônico. Os valores médios encontrados foram ($6,68 \pm 1,82$) para o catchup de tomate orgânico e ($6,79 \pm 1,94$)

para o catchup de tomate semi hidropônico. Desta forma, as notas dos provadores referem-se a (6), descrita pelo termo hedônico “gostei ligeiramente”.

Valores semelhantes a estes foram encontrados por Wiriawattana e Tepsongkroh (2025), ao desenvolverem catchup de tomate e hibisco com baixo teor de sódio, com valores variando entre $(6,00 \pm 1,11)$ e $(7,10 \pm 0,92)$, em teste de preferência com escala hedônica de 9 pontos (1 "desgostei extremamente" e 9 "gostei extremamente"), em amostras de catchup com diferentes proporções de hibisco.

Küçükgoz, Venema e Trzaskowska (2024) avaliando a viabilidade de lactobacilos em catchup de beterraba, quanto aos efeitos da fermentação na qualidade sensorial, encontraram valores entre $(6,28 \pm 1,93)$ amostra controle, $(6,23 \pm 1,32)$ amostra fermentada 1 e $(7,31 \pm 0,88)$ amostra fermentada 2, sendo estes próximos aos encontrados neste estudo.

Zaker *et al.* (2025) utilizando amido de quinoa na formulação de catchup, encontraram valores entre 3,7 e 4,5 de aceitabilidade geral do produto, em amostras de catchup em uma escala hedônica de 5 pontos (1 - 5), definida como muito ruim, ruim, regular, bom e ótimo. Se comparados com a escala hedônica de 9 pontos, estes valores foram proporcionalmente próximos aos valores encontrados neste estudo.

Castro *et al.* (2020) ao realizarem avaliação sensorial de catchup adicionado de amido de semente de pitomba, obtiveram notas médias atribuídas pelos provadores, variando entre 7 e 8, o que corresponde a “gostei moderadamente” e “gostei muito” na escala hedônica de 9 pontos.

Silva *et al.* (2024) em caracterização de molhos agri doces desenvolvidos com tomate, abóbora e manga, também encontraram valores superiores ao desse estudo, com valores médios para o aspecto global de 7,85 (tomate), 6,77 (abóbora) e 5,13 (manga), corresponde a “gostei moderadamente”, “gostei ligeiramente” e “nem gostei/nem desgostei” na escala hedônica de 9 pontos.

Para o molho de tomate (Gráfico 10), os resultados mostraram que houve diferença estatística significativa ($p < 0,001$) na aceitação da análise sensorial, entre os produtos desenvolvidos com tomate orgânico e tomate semi hidropônico. Os valores médios encontrados foram $(8,05 \pm 0,89)$ para o tomate orgânico e $(7,4 \pm 1,47)$ para o tomate semi hidropônico. Assim, as notas dos provadores quanto aos atributos analisados estão entre (8) e (7), descritos pelos termos hedônicos “gostei muito” e “gostei moderadamente”, para molho de tomate orgânico e semi hidropônico respectivamente, indicando que o molho de tomate orgânico teve melhor aceitação

entre os provadores. Observa-se entre as notas dos provadores, valores atípicos situados entre 2, 3 e 4 para molho de tomate semi-hidropônico, correspondendo na escala hedônica a (2) desgostei muito, (3) desgostei moderadamente e (4) desgostei ligeiramente, sendo estes valores considerados como '*outliers*'.

Valores próximos a estes foram encontrados por Melo *et al.* (2012) em formulação de molho de tomate para pizza, onde os autores obtiveram para sabor, notas 7,58 em molhos armazenados a temperatura ambiente e 7,74 para molhos em refrigeração.

Porém Rosa (2011) analisando sensorialmente polpas de tomate da cultivar 'heirloom' cultivadas em sistema orgânico, encontrou valores inferiores aos obtidos neste estudo, para amostras das variedades Chico Grande (4,41), EUA 05 (4,48) e Amish Paste (3,06) quanto a aceitação global.

Pelosi e Azevedo-Meleiro (2012) ao avaliarem sensorialmente massa de tomate, também obtiveram notas inferiores quanto ao sabor, com notas médias entre 5,77 e 5,97, que correspondem, na escala hedônica, a "nem gostei, nem desgostei".

Quanto aos resultados do tomate seco (Gráfico 10), houve diferença estatística significativa ($p < 0,001$) na aceitação da análise sensorial, entre os produtos desenvolvidos com tomate orgânico e tomate semi hidropônico. Os valores médios encontrados foram ($6,75 \pm 0,95$) para o tomate seco orgânico e ($6,15 \pm 1,24$) para o tomate semi hidropônico. Nesse sentido, as notas dos provadores se referem a (6), descrita pelo termo hedônico como "gostei ligeiramente". Observa-se entre as notas dos provadores, valores atípicos iguais a 9 para tomate seco orgânico, considerado "gostei muitíssimo" na escala hedônica, correspondendo a valores considerados como '*outliers*'.

Estes valores estão semelhantes dos encontrados por Raupp *et al.* (2009), ao analisarem tomates secos preparados com quatro cultivares (Italiano, Débora Plus, Santa Cruz, Delícia). Os autores verificaram que os produtos não apresentaram diferença significativa quanto ao sabor, quando foram degustados por provadores não treinados, com os tomates secos recebendo as seguintes pontuações dos provadores: cv. Débora Plus 6,35, cv. Santa Cruz 6,02, cv. Italiano 5,97 e cv. Delícia 5,84.

Romano *et al.* (2013) realizaram análise sensorial de tomates secos processados em desidratador e em forno doméstico. Os valores obtidos também foram semelhantes aos encontrados neste estudo, com 6,80 da variedade Perinha processada em desidratador, sendo este o mais bem aceito pelos provadores,

seguidos pelas variedades Forty (6,78), Andrea (6,69) e Perinha (6,63) processados em forno doméstico.

Camargo, Haj-Isa e Queiroz avaliando a qualidade de tomate seco em conserva, encontraram o valor médio de 6,6 para aceitação do produto, considerado pelo termo hedônico como “gostei ligeiramente”. Estes valores também foram semelhantes aos encontrados nesse trabalho.

Silva, Javará e Braz (2018) encontraram valores acima, quanto a aceitação de tomate sweet grape desidratados em secador solar, ao receberem nota 7, considerada pelo termo hedônico como “gostei moderadamente”. Da mesma forma, na aceitação de tomates sweet grape desidratados, Loro (2015) encontrou notas médias de 8,1, caracterizado pelo termo hedônico “gostei muito”.

Entretanto, Souza *et al.* (2010) com formulações de tomate seco tratados osmoticamente em soluções com sal e açúcar, obtiveram resultados de aceitação inferiores a este estudo, através das cultivares Mariana e SM-16, que apresentaram respectivamente, notas médias de 5,63 e 5,29, próximas de “não gostei/nem desgostei” (5,0).

Assim, de acordo com Souza *et al.* (2010), estas notas 6,75 (para tomate seco orgânico) e 6,15 (para tomate seco semi hidropônico) ficaram acima de 5,0 (limite inferior de aceitação), conforme a escala hedônica de 9 pontos, o que permite afirmar que os produtos apresentam características sensorialmente adequadas para o consumo e comercialização.

Os principais comentários feitos voluntariamente por alguns provadores na ocasião da análise sensorial de Catchup, Molho de tomate e Tomate seco estão descritos na Tabela 13. Os comentários positivos foram identificados na ficha de análise sensorial como “Cite o que você mais gostou na amostra” e os comentários negativos, identificados na frase “Cite o que você menos gostou na amostra”.

Tabela 13 - Principais comentários positivos e negativos feitos por provadores na análise sensorial de Catchup, Molho de tomate e Tomate seco.

Produto Processado	Comentários Positivos	Comentários Negativos
Catchup orgânico	Vermelho brilhante, sabor de pizza, cor intensa, sabor adocicado.,	Cheiro ácido, gosto ácido, sabor forte de óleo.
Catchup semi hidropônico	Vermelho intenso, cheiro bom de tomate, agradável.	Gosto de vinagre, gosto muito picante, sabor ardido.
Molho de tomate orgânico	Sabor de ervas, gosto de tomate fresco, cheiro de especiarias, bem uniforme.	Textura muito rústica.
Molho de tomate semi hidropônico	Boa textura na boca, gosto que lembra pizza, levemente doce, uniforme.	Molho claro, sabor azedo, molho ralo, fibroso.
Tomate seco orgânico	Carnudo, uniforme, sabor de pizza, firme, macio, vermelho vivo, cheiroso, intenso, açúcarado.	Escuro, oleoso demais, pegajoso.
Tomate seco semi hidropônico	Macio, doce, doce-ácido, cor viva.	Muito escuro, amargo, ácido, muito salgado.

Pode-se observar de forma geral, que nos comentários positivos estão descritas características como, levemente adocicado, sabor de pizza, sabor de ervas, vermelho intenso/brilhante, que são atributos característicos dos produtos processados de tomate.

Já os comentários considerados negativos pelos provadores, enfatizam características como sabores ácido, ardido, muito picante e cores escuro ou claro, características que podem ser encontradas em molho de tomate e catchup principalmente, devido a estes produtos conterem vinagre em sua composição. De acordo com Cunha (2006), o catchup é um molho à base de tomate, geralmente adicionado de sal, açúcar, vinagre e outros condimentos e especiarias. Tais características sensoriais podem ser encontradas em produtos derivados de tomate, sendo o Brasil um dos maiores consumidores da América do Sul, estando entre eles o molho e o catchup (Dantas, 2008), os quais se diferenciam quanto ao sabor, acidez e cor (Melo; Vilela, 2005).

O sabor, a textura e a coloração, características que se destacaram nos comentários para os tomates secos, podem ter ocorrido devido ao fato de que a maior parte da comercialização desse produto, ainda ser em forma em conserva, o que

altera sua aparência (Raupp *et al.*, 2009), fazendo com que o consumidor o avalie de forma pontual.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir através da caracterização físico-química e bioquímica para quantificar compostos bioativos e atividade antioxidante de produtos processados de tomate, que independente da forma de cultivo e dos produtos, o teor de licopeno apresentou acréscimos a medida em que aumentaram os tempos de armazenamento dos produtos. Quanto a vitamina C, ao final do período de armazenamento (6 meses), os teores diminuíram no molho de tomate para os cultivos semi hidropônico e orgânico, enquanto que o tomate seco teve seus teores aumentados nas duas formas de cultivo.

Conclui-se ainda que na interação tripla (tempo x cultivo x produto), o molho de tomate foi o produto que teve todas as suas variáveis físico-químicas afetadas pelos diferentes tempos e diferentes cultivos, com exceção do pH e dos açúcares redutores.

Quanto a qualidade sensorial, os valores das notas atribuídas pelos provadores mostraram que os produtos tiveram aceitação em ordem de preferência: molho de tomate, catchup e tomate seco. Este resultado provavelmente ocorreu devido ao molho ser um produto mais consumido popularmente, seguido do catchup. O molho de tomate proveniente de tomates cultivados no sistema orgânico, mostrou-se mais preferido pelos provadores em comparação ao cultivo semi hidropônico.

Por fim, pode-se constatar que o processamento térmico de tomates propiciou além do aumento da vida útil dos produtos processados, o aumento da concentração da atividade antioxidante, diretamente relacionada a estabilizar radicais livres, principalmente do licopeno, flavonoides e vitamina C presentes nos produtos. O aumento da atividade antioxidante pode ser atribuída à produção de novos antioxidantes que podem ocorrer durante alguns processos.

Para uma melhor compreensão dos mecanismos de ação antioxidante nestes produtos através das formas de cultivo realizadas, sugere-se que estudos complementares sejam realizados a fim de verificar a relação sinérgica entre as diferentes condições de cultivo, tempos de armazenamento e concentração da atividade antioxidante presentes no tomate.

5 REFERÊNCIAS

- ADALID, A. M.; ROSELLÓ, S.; NUEZ, F. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum section Lycopersicon*) for content of lycopene, β -carotene and ascorbic acid. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p.613–618, 2010.
- AHMED, M.; EUN, J. B. Flavonoids in fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing: a review. **Crit Rev Food Sci Nutr** v.58, p. 3159-3188, 2018.
- ALVES, A. B. **Compostos antioxidantes em polpa de tomate: efeito do processamento e da estocagem**. Campinas, SP: 2009. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. 163p.
- AMIR, H. *et al.* Lycopene and 1,25-dihydroxyvitamin D3 cooperate in the inhibition of cell cycle progression and induction of differentiation in HL-60 leukemic cells. **Nutrition and Cancer**, v. 33, p. 105-112, 1999.
- ANLAR, H. G.; BACANLI, M. Lycopene as an antioxidant in human health and diseases. In: Preedy, V.R. **Patology. Oxidative Stress and Dietary Antioxidants**. Cap. 24, Elsevier. 2020, p. 247-254.
- ANTUNES, E. R. Avaliação dos compostos bioativos polifenóis, carotenóides e glucosinolatos de hortaliças e sua importância nutricional para prevenção de doenças. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 9, 2.ed., v. 2, p. 191-207. Fev., 2024.
- AOAC, 1984. **Official methods of analysis**. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC: AOAC International.
- AOAC, 1997. **Official methods of analysis**. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC: AOAC International.
- ARBALLO, J.; AMENGUAL, J.; ERDMAN JR., J. W. Lycopene: a critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. **Antioxidants** v. 10, p. 342, 2021.
- ARCE-AMEZQUITA, P. M. *et al.* Nutritional value of conventional, wild and organically produced fruits and vegetables available in Baja California Sur markets. **Terra Latinoamericana**, v.37, p. 401-406. 2019.
- AZEVEDO, E. **Alimentos orgânicos: ampliando os conceitos de saúde humana, ambiental e social**. Florianópolis: SENAC São Paulo, 2012.

BAIER, M. E.; CATTELAN, M. G. Influência de parâmetros físico-químicos e microbiológicos no controle de qualidade de molho de tomate refogado e catchup: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica Unilago**, 2022, v.1, n.1, Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/380> Acesso em 20 jul. 2025.

BARCELOS, S. M.; SILVA, E. F.; BATISTA, E. M.; SOUZA, P. A.; FARIAS, V. L. Efeito do processamento na composição bioativa e na capacidade antioxidante de tomates. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v.10, n. 2, p. 122-142, abr./jun., 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344061921_Efeito_do_processamento_na_composicao_bioativa_e_na_capacidade_antioxidante_de_tomates Acesso em: 18 dez. 2025.

BENASSI, M.T.; ANTUNES, A.J. A comparison of methaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, p. 507-513, 1998.

BIANCHI, M.L.P.; ANTUNES, L.M.G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Rev Nutr.**, v. 12, n. 2, p.123-130, 1999.

BOILEAU, T. W. M.; CLINTON, S. K.; ERDMAN JR., J. W. Tissue lycopene concentrations and isomer patterns are affected by androgen status and dietary lycopene concentration in male F344 rats. **Journal Nutrition**. n.130, p.1613-1618, 2000.

BORGUINI, R. G. **Avaliação do potencial antioxidante e algumas características do tomate (*Lycopersicon esculentum*) orgânico em comparação ao convencional**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BORGUINI, R. G. *et al.* Antioxidant potential of tomatoes cultivated in organic and conventional systems. **Braz. Arch. Biol. Technol.** v.56, n.4, p. 521-529, 2013.

BORGUINI, R. G.; TORRES, E. A. F. da S. Tomates e produtos de tomate como alimentos dietéticos fontes de antioxidantes. **Food Reviews International**, v. 25, p.313-325, 2009.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method

to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**. v. 28, p.25-30, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005. **Aprova o Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 de setembro de 2005. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/c8b2040047457a8c873cd73fbc4c6735/RDC_276_2005.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 21 jul. 2025.

BRASIL. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Nota: carcinogenicidade de cinco agrotóxicos. 2015. Disponível em: www.portal.anvisa.gov.br/noticias Acesso em: 05 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria n. 553 de 30 de agosto de 1995. **Dispõe sobre a Norma de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem do Tomate in natura, para fins de comercialização e Revoga as especificações de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem do Tomate, estabelecidas pela Portaria n. 76, de 25 de fevereiro de 1975**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, set, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 278 de 30 de novembro de 1988. **Norma de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do tomate para indústria**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1988.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria SARC n. 085 de 06 de março de 2002. Propõe o Regulamento técnico de identidade e qualidade para classificação do tomate**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, mar, 2002. (Consulta pública).

BURGOS, G. *et al.* Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 30, n. 1, p. 6-12. 2013.

BURGOS, G. *et al.* Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 30, n. 1, p. 6-12, 2013.

CAMARGO, F. P.; ALVES, H. S.; CAMARGO FILHO, W. P.; VILELA, N. J. Desenvolvimento do sistema agroindustrial de tomate. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n. 11, p. 53-65, 2006. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=6353> Acesso em: 19 jul. 2025.

CAMARGO, G. A.; HAJ-ISA, N.; QUEIROZ, M. R. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.521–526, 2007.

CAMPOS, M, C. **Territorialização da agricultura orgânica no Paraná: preservando o meio ambiente e produzindo alimentos saudáveis**. 2005. Disponível em: <http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo1/e1%20279.htm> Acesso em: 28 abr. 2025.

CARVALHO, A.O. Influência da fonte de nitrogênio sobre o pH da rizosfera e sobre colonização de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Sacc.) Snyder Hansen. 79f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

CASEIRO, M. *et al.* Creagh-Flynn, J.; Johnson, M.; Simões, S. Lycopene in human health. **LWT**, 2020, 127, 109323.

CASEIRO, M. *et al.* Lycopene in human health. **LWT - Food Sci. Technol.** v. 127, 109323, 2020.

CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; MELO, B. A.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. Avaliação sensorial de ketchup adicionado de amido de semente de pitomba. **Research, Society and Development**, v. 9, n.8, e985986774, 2020.

CHANG, C. H.; LIN, H. Y.; CHANG, C. Y.; LIU, Y. C. Comparisons on the antioxidante properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.478-485, 2006.

CHAUDHARY, P.; SHARMA, A.; SINGH, B.; NAGPAL, A. K. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. **J Food Sci Technol.** v.55, n.8, p.2833-2849, Aug., 2018.

CHENG, H. M. *et al.* Lycopene and tomato and risk of cardiovascular diseases: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** n.59, p. 141-158, 2019.

CLINTON, S. K. Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and

disease. **Nutr. Rev.** v. 56, p. 35-51, 1998.

COLLE, I. *et al.* Effect of thermal processing on the degradation, isomerization, and bioaccessibility of lycopene in tomato pulp. **J Food Sci** v.75, p. C753-759, 2010.

CUNHA, J. M. Atomatados: uma categoria saborosa e lucrativa. **Gôndola**. São Paulo. 2006.

DANTAS, R. Atomatados: com sabor de praticidade. **Giro News**, v. 1, n. 45, p. 10-11, 2008.

DEWANTO, V.; WU. X.; ADOM, K. K.; LIU, R. H. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010-3014, 2002.

DJURIC, Z.; POWELL, L. C. Antioxidant capacity of lycopenecontaining foods. **Int J Food Sci Nutr** v. 52, p. 143-149, 2003.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 2011. 426p.

EL-MERGAWI, R. A.; AL-REDHAIMAN, K. Effect of organic and conventional production practices on antioxidant activity, antioxidant constituents and nutritional value of tomatoes and carrots in Saudi Arabia markets. **Journal of Food, Agriculture & Environment** v. 8, p. 253-258, 2010.

EMBRAPA Hortalças. **Cultivares de tomate**. 2011. Disponível em: www.embrapa.br/hortalicas/tomate-de-mesa/cultivares2. Acesso em: 20 jul. 2025.

FEAGRI. **Tomates**. Disponível em: <https://www.feagri.unicamp.br/porta/> Acesso em: 20 jul. 2025.

FERI, B. **Antioxidantes naturais na saúde e na doença humana**. San Diego: Academic Press; 1994.

FERREIRA, S. M. R. *et al.* Qualidade do tomate de mesa cultivado nos sistemas convencional e orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 224-230, jan.- mar., 2010.

Food and Agriculture Organization, FAO Inter-Departmental Working Group on Organic Agriculture. **Organic agriculture**. 2021b. Disponível em: <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/es/> Acesso em: 18 jan. 2025.

Food and Agriculture Organization, FAO. **Transforming food and agriculture to**

achieve the SDGs: 20 interconnected actions to guide decision-makers, technical reference document. 2018. Disponível em: www.fao.org/3/I9900EN/i9900en.pdf. Acesso em: 21 ago.2025.

Food and Agriculture Organization, FAO. **World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021.** 2021a. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/522c9fe3-0fe2-47ea-8aac-f85bb6507776/content> Acesso em: 18 jan. 2025.

FURLANI, P. R. *et al.* **Cultivo hidropônico de plantas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2015.

GACULA JÚNIOR, M. C., SINGH, J. **Statistical methods in food and consumer research.** Orlando: Academic Press, 1984. p.294-311.

GAHLER, S.; OTTO, K.; BOHM, V. Alterations of Vitamin C, Total Phenolics, and Antioxidant Capacity as Affected by Processing Tomatoes to Different Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 27, p. 7962–7968, 2003.

GARCÍA-VALVERDE, V.; NAVARRO-GONZÁLEZ, I.; GARCÍA-ALONSO, J.; PERIAGO, M. J. Compostos bioativos antioxidantes em cultivares selecionadas de tomate para processamento industrial e consumo fresco. **Food Bioprocess Technol.** v.6, p. 391-402, 2013.

GEORGÉ, S. *et al.* Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. **Food Chem** v.124, p.1603-1611, 2011.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. Colheita. In: SILVA, J.B.C.; Giordano, L. de B. (Org.). **Tomate para processamento industrial.** Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia - EMBRAPA-CNPQ, 2000. p. 128-135.

GIOVANELLI, G. L. The antioxidant activity of tomato. IV. Effects of storage on oxidative and heat damage. **Acta Horticulturae**, v.542, p.221-223, 2001.

GIOVANNUCCI, E. *et al.* Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. **Journal Natl Cancer Inst.** v. 87, n.3, p. 1767-1776. 1995.

GÓMEZ-ROMERO, M.; ARRÁEZ-ROMÁN, D.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. Analytical determination of antioxidants in tomato:

Typical components of the Mediterranean diet. **Journal of Separation Science**. v. 30, n. 4, p. 452-61, 2007.

GRAZIANI, G. *et al.* Effect of peeling and heating on carotenoid content and antioxidant activity of tomato and tomato-virgin olive oil systems. **European Food Research and Technology**, v. 216, n. 2, p. 116-121, 2003.

GUEDES, M. A. A. Qualidade físico-química e microbiológica de derivados de tomate comercializados em Ituiutaba-MG. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, Uberaba, p. 22-30, v. 6, n. 2, jul/dez., 2020.

GURNANI, N.; GUPTA, M.; MEHTA, D.; MEHTA, B.K. Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts from red chilli seeds (*Capsicum frutescens* L.). **J. Taibah Univ. Sci.** 10, 462–470. 2016.

HALLIWELL, B.; MURCIA, M. A.; CHIRICO, S.; ARUOMA, O. I. Radicais livres e antioxidantes em alimentos e in vivo: o que fazem e como funcionam. **Crit Rev Food Sci Nutr**. n.35, p.7-20. 1995.

HDIDER, C.; ILAHY, R.; TLILI, I.; LENUCCI, M. S.; DALESSANDRO, G. Effect of the Stage of Maturity on the Antioxidant Content and Antioxidant Activity of High-pigment Tomato Cultivars Grown in Italy. **Global Science Books**, 2013, Food 7 (Special Issue 1), p.1-7.

HITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. **Journal Hortic Sci Biotech**. v.80, n.6, p.660-667, 2005.

HOFFMANN, F. L.; GARCIA-CRUZ, C. H.; VINTURIM, T. M. Determinação da contaminação microbiana de diferentes produtos de tomate. **B. CEPPA**, v.11, p.17-26, 1993.

ILAHY, R.; HDIDER, C.; LENUCCI, M. S.; TLILI, I.; DALESSANDRO, G. Phytochemical composition and antioxidant activity of highlylycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. **Scientia Horticulturae**, v. 127, p. 255-261, 2011.

ILAHY, R.; HDIDER, C.; LENUCCI, M. S.; TLILI, T.; DALESSANDRO, G. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. **Sci Hort**. v.127, p.255-261, 2015.

JACOB, K.; GARCIA-ALONSO, F. J.; ROS, G.; PERIAGO, M. J. Stability of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant capacity of tomatoes during thermal processing. **Arch Latinoam Nutr** v.60, p. 192-198, 2010.

JAIME, M. D. L. P. **Conservação pós-colheita de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) em diferentes estádios de maturação**. 1998. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

JORDAN, J. A. The heirloom tomato as cultural object: investigating taste and space. **Sociol. Ruralis**, v. 47, n. 1, p. 20-41, 2007.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in fruits and vegetables – the millennium's health. **Int J Food Sci Technol**. v. 36, n. 7, p. 703-725, Oct., 2001.

KAUR, R.; KAUR, K.; AHLUWALIA, P. Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. **LWT - Food Science and Technology**, v. 117, 108604, 2019.

KEVERS, C. *et al.* Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p.8596-8603, 2007.

KOH, E.; CHAROENPRASERT, S.; MITCHELL, A. E. Effects of industrial tomato paste processing on ascorbic acid, flavonoids and carotenoids and their stability over one-year storage. **J Sci Food Agric**. v. 92, p. 23-28, 2012.

KÜÇÜKGOZ, K.; VENEMA, K.; TRZĄSKOWSKA, M. Beetroot ketchup as a stable carrier of potential probiotic *Lactobacillus rhamnosus* K3 and *Lactobacillus johnsonii* K4: A study on sensory attributes, storage viability, and in vitro gastrointestinal survival. **Food and Bioprocess Processing**, v. 148, p. 519–526, 2024.

KUSKOSK, M; ASUER, G; TRONCOS, M; MANCINI-FILHO, J; FEE, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Ciênc Tecnol Aliment** v. 25, p. 726-732, 2006.

LANA, M. M.; TIJSKENS, L. M. M.; KOOTEN, O. V. Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. **Postharvest Biology and Technology** v. 35, n. 1, p. 87-95, 2005.

LAVELLI, V.; GIOVANELLI, G. Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products. II. Study of oxidative damage indices. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.83, p.966-971, 2003.

LAVELLI, V.; HIPPELI, S.; PERI, C.; ELSTNER, E. F. Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions. **J Agric Food Chem** v.47, p. 3826-3831, 2001.

LENUCCI, M. S.; CADINU, D.; TAURINO, M.; PIRO, G.; DALESSANDRO, G. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, v. 54, p. 2606-2613, 2006.

LONG, M.; MILLAR, D. J.; KIMURA, Y.; DONOVAN, G.; REES, J.; FRASER, P. D. Metabolite profiling of carotenoid and phenolic pathways in mutant and transgenic lines of tomato: Identification of a high antioxidant fruit line. **Phytochemistry**, v. 67, p. 1750-1757, 2000.

LORO, A. C. **Caracterização química e funcional de tomates “Sweet Grape” e Italiano submetidos à desidratação osmótica e adiabática**. 89p. Dissertação de Mestrado - Centro de Energia Nuclear da Agricultura – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O. A. **Cultivo protegido do tomateiro**. Circular Técnica 13. EMBRAPA Hortaliças. Dez., 1998, 20p.

MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B. de, FERREIRA, N. A. **Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS**. Comunicado Técnico 85, EMBRAPA Hortaliças, Brasília, Mar., 2013. 4p.

MARTÍ, R.; ROSELLÓ, S.; CEBOLLA-CORNEJO J. Tomato as a Source of Carotenoids and Polyphenols Targeted to Cancer Prevention. *Cancers*. 2016, Jun., 8, 58. p.1-28. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4931623/pdf/cancers-08-00058.pdf> Acesso em: 23 jul. 2025.

MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; PROVAN, G.; CHESSON, A. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). **J. of the Scien. of Food and Agric.**, Malden, v. 82, p. 323-330, 2002.

MELO, P. C. T. de ; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, n.3, v.1, p.154–157, 2005.

MELO, P. C. T. de *et al.* Desempenho de cultivares de tomateiro em sistema orgânico sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.4, p.553–559, 2009.

MELO, S. S. *et al.* Formulação, caracterização físico-química, sensorial, microbiológica e vida de prateleira de molho de tomate para pizza. **PUBVET**, Londrina, v. 6, n. 15, ed. 202, art. 1355, 2012.

MELO, S. S.; SILVA, M. C. M.; SANTANA, Y. A. G.; LIMA, A. Formulação, caracterização físico-química, sensorial, microbiológica e vida de prateleira de molho de tomate para pizza. **PUBVET**, v. 6, n. 15, ed. 202, art. 1355, 2012.

MIRANDA, F. R.; MESQUITA, A. L. M.; MAIA, C. W. C.; SOARES, J. V. S.; SILVA, J. G. Cultivo protegido de tomate cereja, em substrato, na região da Ibiapaba, Ceará. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2023. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular técnica, 51).

MUNHOZ, C. L.; UMEBARA, T.; BRANCO, I. G.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Caracterização e aceitabilidade de tomate seco. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. v. 05, n. 01, p. 252-262, 2011.

MUÑOZ, C. M. G.; GÓMEZ, M. G. S.; SOARES, J. P. G.; JUNQUEIRA, A. M. R. Normativa de Produção Orgânica no Brasil: a percepção dos agricultores familiares do assentamento da Chapadinha, Sobradinho (DF). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.54, n.2, p.361-376, 2016.

NASCIMENTO, A. dos R. *et al.* Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. **Horticultura Brasileira**, 2013, v. 31, n.4, p.628–635.

NORA, F.M.D. **Compostos ativos e suas aplicações**. 2021. Mérida Publishers: Canos/RS. 380p. Disponível em: <<https://meridapublishers.com/cba/cba.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2025.

PARMAR, M.; RAJPUT, H.; JOHRI, S. *Solanum lycopersicum*, a Reservoir of Antioxidants. In.: Chauhan, P.S.; Johri, S. **Antioxidant-based therapies for disease prevention and management**. Apple Academic Press: Ney York, 2021, 296p.

PELLEGRINI, N. *et al.* Evaluation of antioxidant capacity of some fruit and vegetable foods: Efficiency of extraction of a sequence of solvents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 1, p.103-111, 2007.

PELOSI, M. S.; AZEVEDO-MELEIRO, C. H. Produção de massa de tomate com maior conteúdo de pró-vitamina A: avaliação microbiológica, físico-química e sensorial. **Rev. Ceres**, v. 61, n.6, p. 891-899, nov/dez, 2014.

PERIAGO, M. J.; RINCON, F.; JACOB, B. K.; GARCIA-ALONSO, J.; ROS, G. Detection of key factors in the extraction and quantification of lycopene from tomato and tomato products. **J Agric Food Chem**. v.55, n.22, p.8825-8829, 2005.

PRZYBYLSKA, S. Lycopene – a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, n.55, p. 11–32, 2020.

QUEZADO-DUVAL, A.M.; TEIXEIRA, A.O.; MEGGUER, C.A.; SILVA, C.J.; PONTES, N.C.; BASÍLIO, E.E. **Desempenho agrônômico e de qualidade de frutos de híbridos de tomate para processamento industrial sob irrigação subterrânea**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2018. 23p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 160).

RAFFO, A. *et al.* Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.6550-6556, 2002.

RAUPP, D. da S.; GARDINGO, J. R.; SCHEBESKI, L. dos S; AMADEU, C.A.; BORSATO, A. V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **Acta Amaz.** v. 39, n. 2, p. 415-421, 2009.

RAWAT, A., UPADHYAY, M.; SINGH, O. Exploring the pharmacological potential and traditional use of *Solanum lycopersicum* L. (Tomato): A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v.13, n.2, p.768–771. 2024.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. (2025). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

RIBEIRO-SILVA, R. C. *et al.* Implicações da pandemia COVID-19 para a segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 9, p. 3421-3430,

2020. Disponível em: <<https://scielosp.org/article/csc/2020.v25n9/3421-3430/>>
Acesso em: 16 abr. 2025.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in food**. Washington, USA: International Life Sciences Institute. p. 1-60. 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 6, p. 445-463, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Campinas, São Paulo: Unicamp. p. 2-51. 2004.

ROMANO, K. R. *et al.* Processamento de conservas de tomates orgânicos desidratados: Uma alternativa para agricultura familiar. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2013, v. 8, n. 4, p. 13.

ROMANO, K. R.; RUELLA, P. R.; BRANCO, C. S. V.; TOLENTINO, V. R.; OLIVEIRA, L. F. Processamento de conservas de tomates orgânicos desidratados: uma alternativa para agricultura familiar. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 97-104, 2013.

ROSA, C. L. S. Caracterização nutricional, físico-química e sensorial de polpa de tomates cultivados em sistema orgânico. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2011.

SALEHI, B. *et al.* Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. **Nutrition**, 2019, n.62, p.201–208.

SALEHI, B. *et al.* Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. **Nutrition**, v. 62, p. 201-208, 2019.

SANTANA-NETA, L. G. **Caracterização e avaliação do potencial de bioativos e atividades antioxidantes de *Genipa americana* L. desidratado**. 2014. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência de alimentos). Faculdade de Farmácia/ Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SANTOS, G. G. **Qualidade físico-química, microbiológica e ocorrência de micotoxinas de *Alternaria alternata* em derivados de tomate**. Brasília. 93f. Tese.

(Doutorado) - Universidade de Brasília, 2014.

SANTOS, G. G. **Qualidade físico-química, microbiológica e ocorrência de micotoxinas de *alternaria alternata* em derivados de tomate**. 2014. Tese (Doutorado em Nutrição Humana) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília; 2014.

SANTOS, L.S. Em tempos de pandemia: uma abordagem nutricional para aumentar a imunidade. **Revista Internacional de Apoyo a la Inclusión, Logopedia**, Sociedad y Multiculturalidad. v. 6, n. 3, Dez. 2020. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7680316>> Acesso em: 11 abr. 2025.

SENNA, C. A.; RODRIGUES, M. H. P.; BADIALE-FURLONG, E. Impacto do processamento industrial na composição de tomates (*Solanum lycopersicum*). In: **Agricultura e Agroindústria no contexto do desenvolvimento rural sustentável**. p. 202-217, 2021.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, v.17, n.2, p.227–236. 2004.

SHARMA, O. P.; BHAT, T. K. DPPH antioxidant assay revisited. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1202-1205, 2009.

SHI, J.; LE MAGUER, M. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v.20, n.4, p. 1-42, 2000.

SIES, H.; STAHL, W. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. **Am J Clin Nutr**. 1995, n.62, p.1315S-21S.

SILVA, C. R. M.; NAVES, M. M. V. Suplementação de vitaminas na prevenção de câncer. **Rev Nutr.**, v.14, n.2, p. 135-43, 2001.

SILVA, J. R. da; LEMES, E. de O.; CHOZE, R.; ANDRADE, E. D. de. Análise do controle de qualidade na produção de ketchup e criação de um novo produto. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, Curitiba, v. 4, n. 5, p. 87-103, 2016.

SILVA, L. G. M. *et al.* Caracterização de molhos agrídoces desenvolvidos a partir do delineamento de mistura *simplex-centroid*. **Revista Observatório De La Economia**

Latinoamericana, Curitiba, v. 22, n. 3, p. 01-19, 2024.

SILVA, L. I. O. da *et al.* Análise comparativa do tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivados em sistema orgânico e convencional. **GETEC**, v. 17, p. 78-88, 2024.

SILVA, L.G.M. *et al.* Caracterização de molhos agri doces desenvolvidos a partir do delineamento de mistura simplex-centroid. **Revista Observatório De La Economia Latinoamericana**, v.22, n.3, p. 1-19, 2024.

SILVA, M. A.; JAVARÁ, N. N.; BRAZ, M. R. S. Parâmetros sensoriais do tomate sweet grape desidratado em secador solar híbrido. In.: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Gramado, 2018.

SILVA, M. A.; JAVARÁ, N. N.; BRAZ, M. R. S. **Parâmetros sensoriais do tomate sweet grape desidratado em secador solar híbrido**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2007.

SOARES, B. B.; RANGEL, R. Aspectos industriais da cultura. In: Clemente, F.M.V.T.; Boiteux, L.S. **Produção de tomate para processamento industrial**. Embrapa: Brasília, 2012. p. 331-344.

SOUZA, A. S.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; AZEVEDO, A. D. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 807-814, 2008.

SOUZA, C. M. G. de. *et al.* Avaliação sensorial de tomate seco preparados em diferentes concentrações osmóticas. **Revista Verde**, v.5, n.2, p. 223 - 229, 2010.

STECKELBERG, R. M. B.; CONCEIÇÃO, E. C. da. Do campo à indústria: Panorama sobre o tomate, benefícios do licopeno à saúde e valorização sustentável de subprodutos. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 2, e10214248276, 2025.

STEWART, A. J. *et al.* Occurrence of flavonoids in tomatoes and tomato-based products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.2663-2669, 2000.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. - The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and**

Agriculture, v. 10, p. 63-68, 1959.

TAKEOKA, G. R. *et al.* Processing Effects on Lycopene Content and Antioxidant Activity of Tomatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 8, p. 3713–3717, 2001.

TEMPLE, N. J. Antioxidants and disease: More questions than answers. **Nutrition Research**, v.20, n.3, p.449-459, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027153170000138X>. Acesso em: 22 jul. 2025.

TOLEDO, D. S.; COSTA, C. A.; BACCI, L.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, M. F. Production and quality of tomato fruits under organic management. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 253-257, 2011.

TOOR, R. K.; SAVAGE, G. P. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v.99, p.724-727, 2006.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p.616-622, 2007.

VALLVERDÚ-QUERALT, A. *et al.* Effect of tomato industrial processing on phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity. **LWT-Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 154-160, 2012.

VÁZQUEZ, G.; FONTENLA, E.; SANTOS, J.; FREIRE, M.S.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J.; ANTORRENA, G. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 28, p. 279–285, 2008.

VIZZOTTO, M.; ARAUJO, V. F.; BIALVES, T. S.; SILVA, D. R. da; SCHWENGBER, J. E. Atividade antioxidante, fenóis e carotenóides de diferentes tipos de tomate cultivados sob sistema orgânico. 2012. 4. Simpósio de Segurança Alimentar. FAURGS. Gramado, RS. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/940707/1/0000000890tomateGramadoMarciaeJoseErnani.pdf> Acesso em: 02 jul. 2025.

WILLIS, M. S.; WIANES JÚNIOR, F. H. The role of nutrition in preventing prostate cancer: a review of the proposed mechanism of action of various dietary substances.

Clin Chim Acta, n. 330, p. 57-83, 2003.

WIRIYAWATTANA, P.; TEPSONGKROH, B. Practical application of preference mapping in commercial products for the development of low-sodium tomato-rosella ketchup. **Applied Food Research**, v. 5, 100782, 2025.

WPTC - World Processing Tomato Council. (2023). **Indústria de Processamento de Tomate**. Disponível em: <https://www.wptc.to/production/> Acesso em: 25 abr. 2025.

WTTP - World Trade in Tomato Products. (2023). **Tomato News**. Disponível em: https://www.tomatonews.com/en/trade_46.html Acesso em: 25 abr.2025.

WU, X.; YU, L.; PEHRSSON, P. R. Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. **Adv Nutr.** v.13, n. 1, p. 138-151, 2022.

ZAKERI, S. M.; ALIM, M.; SHOKOOHI, S.; SHAHIDI, S. Acetylated distarch adipate quinoa starch in tomato ketchup: Modification process and functional characteristics. **Applied Food Research**, v. 5, n.1, 100708, 2025.

ARTIGO 2

BIOFORTIFICAÇÃO DE ALFACE AMERICANA COM SELÊNIO

Mirian Cristina Maretti^{1*}; Fábio Luiz Melquiades², Maurício Ursi Ventura¹

¹Departamento de Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

²Departamento de Física. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

*Autor para correspondência: miriancristinapr@gmail.com

Resumo

A biofortificação de culturas com selênio (Se) é uma estratégia eficaz para aumentar o consumo deste micronutriente, por este ser essencial para a saúde humana. O objetivo deste estudo foi utilizar adubação de selênio na forma nanoencapsulada e quantificar através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), os teores deste mineral visando eventual biofortificação de alface americana através do uso de fertilizante nanoencapsulado. Plantas de alface americana foram cultivadas em sistema orgânico de produção, utilizando seis tratamentos para biofortificação de Selênio (T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal; T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal; T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal; T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal; T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante; T6 – Tratamento Controle), com seis plantas por tratamento e duas repetições, totalizando 72 plantas cultivadas. Foram realizadas análises físicas das plantas pós-colheita, através das variáveis: peso da cabeça com raiz, diâmetro da cabeça, diâmetro do colmo, peso de raiz fresca e comprimento de raiz fresca. Folhas e raízes biofortificadas com Se foram desidratadas e trituradas, sendo as amostras analisadas para quantificação do mineral, através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados obtidos quanto aos valores de biomassa do peso da cabeça com raiz, diâmetro da cabeça, diâmetro do colmo, peso de raiz fresca e comprimento de raiz fresca, bem como em folhas e raízes desidratadas de alface americana (base seca), não apresentaram diferenças significativas, em comparação

ao controle, com a utilização de fertilizante nanoencapsulado de Selênio em diferentes dosagens e frequências de aplicações. Apesar disso, observou-se nas análises em base seca, um incremento de 87,5% de Se na concentração das folhas e 24,5% na concentração das raízes, em comparação ao controle. Pode-se concluir que a biofortificação é método eficiente para combater a deficiência de micronutrientes, por ser viável, econômico e confiável em adicionar nutrientes à dieta humana e que, a nanotecnologia oferece uma maneira inovadora e eficiente para a prática agrícola melhorar a produtividade das culturas.

Palavras-chave: antioxidantes, nanopartículas de selênio, nutrição, cultivo orgânico, *Lactuca sativa* L.

Abstract

Biofortification of crops with selenium (Se) is an effective strategy to increase the consumption of this micronutrient, as it is essential for human health. The objective of this study was to use selenium fertilizer in nanoencapsulated form and quantify, through energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF), the levels of this mineral aiming at the eventual biofortification of iceberg lettuce through the use of nanoencapsulated fertilizer. American lettuce plants were grown in an organic production system using six treatments for selenium biofortification (T1 – 2ml/500ml water – biweekly application; T2 - 2ml/500ml water – weekly application; T3 - 3ml/500ml water – biweekly application; T4 - 3ml/500ml water – weekly application; T5 - 3ml/500ml water – application 15 days after transplanting; T6 – Control Treatment), with six plants per treatment and two replicates, totaling 72 plants cultivated. Post-harvest physical analyses of the plants were performed using the following variables: head weight with root, head diameter, stem diameter, fresh root weight, and fresh root length. Leaves and roots biofortified with Se were dehydrated and ground, and the samples were analyzed for mineral quantification using energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF). The data were subjected to analysis of variance and Scott-Knott test at a 5% probability level. The results obtained regarding biomass values for head weight with root, head diameter, stem diameter, fresh root weight, and fresh root length, as well as in dehydrated leaves and roots of iceberg lettuce (dry basis), did not show significant differences compared to the control, with the use of nanoencapsulated selenium fertilizer at different dosages and application frequencies.

Despite this, an increase of 87.5% in Se concentration in the leaves and 24.5% in the roots was observed in the dry basis analyses, compared to the control. It can be concluded that biofortification is an efficient method to combat micronutrient deficiency, as it is viable, economical, and reliable in adding nutrients to the human diet, and that nanotechnology offers an innovative and efficient way for agricultural practice to improve crop productivity.

Keywords: antioxidants, selenium nanoparticles, nutrition, organic cultivation, *Lactuca sativa* L.

1 INTRODUÇÃO

A fome oculta atinge mais da metade da população mundial e pode afetar tanto países desenvolvidos, quanto países subdesenvolvidos. Mais de dois bilhões de pessoas no mundo passam por situação de insegurança alimentar, o que, na maioria das vezes, os restringem de consumir o nível adequado de minerais que são recomendados para que o organismo consiga exercer funções fisiológicas adequadamente (Nutti *et al.*, 2016). Estima-se que no Brasil cerca de 33 milhões de pessoas passem fome, e que 25% da população do Norte brasileiro enfrenta essas circunstâncias (Vieira, 2022).

A importância da segurança alimentar e nutricional refere-se, além de questões de educação nutricional, com a redução do poder de compra pela população e a alta nos preços dos alimentos nos últimos anos, fatores estes que levaram a diminuições importantes no consumo alimentar, particularmente de alimentos nutricionalmente mais saudáveis (Ribeiro-Silva *et al.*, 2020), o que favorece o aumento no consumo de alimentos ultraprocessados em virtude do baixo custo e da facilidade de acesso destes produtos, agravando assim, a situação de insegurança alimentar e nutricional entre a população mais vulnerável (Monteiro *et al.*, 2019).

A carência de alimentos de qualidade ocorre pelo consumo insuficiente de culturas naturalmente ricas em vitaminas e minerais (Bouis; Saltzman, 2017), na qual pode estar relacionada a uma má educação alimentar por parte da população (Qaim *et al.*, 2007), e/ou pela inacessibilidade à alimentos nutritivos, como frutas e verduras (Bouis; Saltzman, 2017).

Como a agricultura fornece a maior parte dos nutrientes necessários através

da produção de alimentos, alguns autores defendem que ela é o ponto de partida para a diminuição dessa deficiência, por meio da ampliação do desenvolvimento de culturas não básicas e na produção de alimentos mais ricos em nutrientes diretamente no campo (Saltzman *et al.*, 2013).

A biofortificação agrônômica é uma estratégia que pode ser utilizada para aumentar a concentração de nutrientes nos produtos agrícolas, melhorando a dieta e a saúde humana (Monelli, 2016). Por sua vez, os micronutrientes são essenciais para manter o organismo saudável através de propriedades antioxidantes e redução nos efeitos da produção de radicais livres (Moraes, 2018). Nesse contexto, o Selênio (Se) destaca-se com importante papel na manutenção das funções do organismo humano, sendo a suplementação com esse nutriente essencial para a qualidade de vida (MBNE, 2018).

Monelli (2016) afirma que o Se, através de estudos já realizados, mostrou-se benéfico à saúde humana e animal. Com a biofortificação de alimentos com selênio, busca-se diminuir ou até mesmo acabar com a ausência desse elemento no organismo.

Em baixas concentrações, o Se é um metaloide essencial na dieta humana (Nunes *et al.*, 2012). Embora a ingestão diária recomendada de selênio seja de apenas 55 µg dia⁻¹, há relatos afirmando que a deficiência de Se afeta 800 milhões de pessoas em todo o mundo (Malagoli *et al.* 2015; Otten *et al.* 2006); visto que em muitos países europeus, por exemplo, essa ingestão diária recomendada não é alcançada (Ivory e Nicoletti, 2017). Além disso, Ferreira *et al.* (2002) relataram que a concentração de Se nos alimentos de origem vegetal consumidos no Brasil é considerada baixa, em relação aos padrões internacionais.

Estudos científicos já demonstraram seu papel essencial em diversas funções, como defesa antioxidante (Rayman, 2000), função imunológica (Khoso *et al.*, 2015), formação do hormônio tireoidiano (Wichman *et al.*, 2016) e fertilidade e reprodução (Mehdi *et al.*, 2013). Outro ponto importante, é que nos últimos 20 anos, estes estudos demonstraram uma relação inversa entre os níveis de Se e a incidência de câncer (Babaknejad *et al.*, 2014; Bachiega *et al.*, 2016; Jayaprakash e Marshall, 2011; Roman *et al.*, 2014).

Para uma alimentação rica em vitaminas e minerais, recomenda-se o consumo de alimentos *in natura* e alimentos que possuem benefícios fisiológicos e auxiliam na prevenção de doenças crônicas (Ortelam *et al.*, 2022).

Neste cenário, a alface considerada a hortaliça folhosa mais consumida em todo o mundo, sendo cultivada em quase todos os países, surge como alternativa viável de biofortificação, devido ao fácil acesso e grande aceitação de consumo pela população (Alencar *et al.*, 2012).

Como benefícios na alface biofortificada, o Se promove a saúde imunológica, auxiliando o organismo na defesa contra infecções, bem como a regular a glândula tireoide, essencial para o metabolismo da função tireoideia; tem ação antioxidante, contribuindo para a proteção contra danos causados pelo estresse oxidativo; além de favorecer a saúde reprodutiva com sua importância na fertilidade e desenvolvimento fetal (Duntas; Benvença, 2015; Monelli, 2016; Silva *et al.*, 2024).

A quantificação de selênio é um método importante no processo de biofortificação (Bachiega *et al.*, 2019). Diante disso, a biofortificação se torna um método eficaz, econômico e sustentável para melhorar os níveis de Se ingeridos pela população (Alfthan *et al.*, 2015; Bouis e Saltzman, 2017).

Além disso, regiões que possuem o solo pobre em Se, como regiões da África Central, China, Nova Zelândia, parte da Europa Oriental e Rússia, demonstram ser áreas endêmicas de doenças causadas por sua deficiência, como a doença de Keshan, uma cardio-miopatia que foi observada pela primeira vez na província de Keshan, na China, e a doença de Kashin-Beck, osteoartropatia encontrada em áreas rurais da China, Tibete e Sibéria (Rayman, 2002).

De acordo com Bachiega *et al.* (2019), a técnica de fluorescência de raios X (FRX), especialmente a espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), pode ser utilizada para a determinação de Se em alimentos enriquecidos com este mineral. Os autores afirmam que essa técnica é promissora para a análise de nutrientes em plantas, por ser um método simples, rápido e não destrutivo de análise de nutrientes em uma variedade de amostras, além de apresentar custos mais acessíveis em comparação com outros métodos de quantificação.

O objetivo deste estudo foi utilizar adubação de selênio na forma nanoencapsulada e quantificar, através da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF), os teores deste mineral visando eventual biofortificação de alface americana através do uso de fertilizante nanoencapsulado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal

As mudas de alface americana (*Lactuca sativa* L.) foram adquiridas de viveiro comercial em Maringá, Paraná e transportadas para o Sítio Santo Antônio, propriedade rural em Sarandi, Paraná, onde foi realizado o cultivo em sistema de produção orgânico, tendo a propriedade certificação orgânica.

2.2 Condições experimentais

O experimento foi conduzido a uma altitude de 532 m, em propriedade situada pelas coordenadas geográficas de latitude 23° 32' 10,61" Sul e longitude: 51° 54' 49,02" Oeste. O clima da região é do tipo Cfa (Subtropical Úmido), caracterizado por verões quentes e chuvosos, e invernos secos, com temperaturas médias amenas, segundo a classificação climática de Köppen para Sarandi, Paraná. A precipitação pluviométrica (mm) e a temperatura média (°C) durante o período do experimento tem valores de 130 e 19,1 (março); 110 e 17,1 (abril) e 100 e 14,1 (maio), respectivamente, com umidade relativa entre 70,1 e 75% (Nitsche *et al.*, 2019).

O tipo de solo predominante na região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd1 a LVd23) (Bhering *et al.*, 2007). Os resultados da análise de solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise química de solo do local do experimento. Sarandi, PR, 2026.

RESULTADOS ANALÍTICOS			
MACRONUTRIENTES			
ELEMENTO	UNIDADE	RESULTADO	INTERPRETAÇÃO
pH em CaCl_2	-	6,10	ALTO
pH em H_2O	-	6,90	ALTO
pH em SMP	-	6,65	
MATÉRIA ORGÂNICA (M.O.)	g/dm^3	26,01	ALTO
CARBONO (C)	g/dm^3	15,08	ALTO
FÓSFORO	mg/L	***	
REMANESCENTE (P-Rem.)			
FÓSFORO (P)	mgP/dm^3	54,54	ALTO
POTÁSSIO (K^+)	cmol/dm^3	1,66	ALTO
CÁLCIO + MAGNÉSIO (Ca^{+2} + Mg^{+2})	cmol/dm^3	11,64	ALTO
CÁLCIO (Ca^{+2})	cmol/dm^3	8,53	ALTO
MAGNÉSIO (Mg^{+2})	cmol/dm^3	3,11	ALTO
HIDROGÊNIO + ALUMÍNIO ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$)	cmol/dm^3	3,06	ALTO
ACIDEZ TOTAL (H^+)	cmol/dm^3	3,06	MÉDIO
ALUMÍNIO (Al^{+3})	cmol/dm^3	0,00	BAIXO
SOMA DE BASES (SB)	cmol/dm^3	13,30	ALTO
CAPACIDADE DE TROCA (CTC em pH 7,0)	cmol/dm^3	16,36	ALTO
CTC EFETIVA	cmol/dm^3	13,30	ALTO
SATURAÇÃO DE BASES (V)	%	81,29	ALTO
ENXOFRE (S)	mg/dm^3	9,74	MÉDIO
MICRONUTRIENTES			
COBRE (Cu)	mg/dm^3	21,28	ALTO
ZINCO (Zn)	mg/dm^3	26,63	ALTO
FERRO (Fe)	mg/dm^3	48,30	ALTO
MANGANÊS (Mn)	mg/dm^3	129,20	ALTO

SÓDIO (Na ⁺)	mg/dm ³	17,50	ALTO
BORO (B)	mg/dm ³	0,27	MÉDIO

O experimento foi conduzido entre os meses de março a maio de 2024.

Foram realizados seis tratamentos, com seis plantas por tratamento e duas repetições, totalizando 72 plantas cultivadas. Os tratamentos utilizando Se foram: T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal; T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal; T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal; T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal; T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante; T6 – Tratamento Controle.

O espaçamento de plantio foi de 0,30 m entre plantas e 0,30 m entre linhas. O manejo e os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade do cultivo. O controle das plantas espontâneas foi feito por meio de capinas manuais, realizadas aos 15 e 25 DAT. Não houve necessidade de controle fitossanitário.

O Se foi preparado com diluição em água e pulverizado através de pulverizador manual, com capacidade de 2 L. As pulverizações foram realizadas nas folhas no período da manhã, duas horas após a irrigação da cultura. Esta foi realizada por aspersão, de duas a três vezes ao dia, dependendo das condições climáticas e necessidade das plantas.

As plantas foram colhidas trinta e sete dias após o transplante das mudas, tendo o cuidado de colher com as raízes. De acordo com metodologia utilizada por Yuri *et al.* (2002), a colheita foi efetuada quando a alface apresentava o máximo crescimento vegetativo, com cabeças compactas e grandes.

Após a colheita, as cabeças de alface americana foram acondicionadas em sacos plásticos identificados com os respectivos tratamentos e organizadas em caixas plásticas, que foram transportadas ao Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina (UEL), para realização das análises físicas, desidratação e moagem do material, e análises de concentração de Se.

2.3 Características do produto de Se utilizado

O fabricante do produto de Se utilizado é a companhia TCMS (Total Control Microbiologic System), sediada em Barcelona, Espanha, tendo como representante no Brasil a empresa Tech Crop, localizada em São Miguel Arcanjo, Estado de São

Paulo. O produto com nome provável de Tech Fort Se, está em fase experimental, não encontrando-se disponível comercialmente.

O produto estava na fase líquida e continha selênio na forma nanométrica. Para produzir as nanopartículas foi utilizado selenito de sódio (Na_2SeO_3). Em solução, o produto fica sem carga negativa, envolvido pelo alginato. O alginato (polímero aniônico) atua como agente redutor (em alguns processos), estabilizante/agente de encapsulamento e controlador de tamanho das nanopartículas. Desta forma, a fonte de Se, quer seja selenito ou selenato, não influencia e sim, a nanopartícula de Se que fica revestida por alginato, com carga superficial negativa (potencial zeta negativo).

O potencial zeta é a medida da carga elétrica efetiva na superfície de uma nanopartícula em suspensão, especificamente no plano onde a partícula “se move” em relação ao líquido (plano de cisalhamento). É o quanto a nanopartícula “repulsa” ou “atrai” outras partículas no meio líquido. Ele é expresso em milivolts (mV). No contexto agronômico, nanopartículas negativas tem maior estabilidade em calda, menor fitotoxicidade e melhor translocação apoplástica. Já as nanopartículas positivas têm maior adsorção foliar e maior risco de retenção superficial e toxicidade.

O produto utilizado tem Se no tamanho de 80 nanômetros, confirmado por microscópio eletrônico de varredura (MEV). O tamanho não influencia na concentração. Porém influencia na absorção, ou seja, quanto menor a nanopartícula, mais rápida será a absorção do produto.

Para calcular a concentração do produto, é necessário utilizar o peso molecular do elemento Se (78,96), ficando a conversão da seguinte forma:

$\mu\text{mol} \rightarrow \text{mg/L (ppm)}$

$1 \text{ mg/L} = 1000 \mu\text{mol/L}$

$1000 \mu\text{mol/L} / 78,96 (\mu\text{g} / \mu\text{mol}) = 12,66 \mu\text{mol/L}$

Logo:

$1 \text{ mg/L de Se} = 12,7 \mu\text{mol/L}$.

Em 1 ml de produto = aproximadamente 4 ppm ou 4 mg/L

Assim:

$4 \text{ mg/L do produto} \times 12,7 \mu\text{mol/L} = 50,8 \mu\text{mol/L de Se}$

2.4 Análises Físicas

O material foi retirado dos sacos de polietileno para retirada do excesso de solo das raízes, com lavagem em água corrente. Em seguida, realizou-se as análises considerando-se as variáveis: peso da cabeça com raiz, diâmetro da cabeça, diâmetro do colmo, peso de raiz fresca e comprimento de raiz fresca. A separação da cabeça da alface e da raiz, foi feita com auxílio de faca de serra de cortar legumes.

2.5 Preparo das amostras para análise da concentração de Se

Após a realização das análises físicas, planta e raízes de alface americana foram acondicionadas para desidratação, em sacos de papel kraft com dimensões de 18 x 11 x 28 cm e colocadas em estufa de secagem com circulação forçada de ar, no Laboratório de Solos. A temperatura de secagem foi de 60°C pelo período de 48h. Após a desidratação, as amostras foram trituradas em um moinho de facas tipo Willey e colocadas em sacos de polietileno devidamente identificadas e fechadas com retirada manual do ar, para posterior análise da concentração de Se.

2.6 Análises da concentração de Se

Para a quantificação de Se, utilizou-se a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) em folhas e raízes desidratadas de alface americana e biofortificadas com Se. A concentração de selênio foi expressa em mg kg^{-1} unidades de base seca.

2.6.1 Preparação de Amostras e Padrões para Análise por EDXRF

A curva de calibração de adição de Se foi preparada pela adição de volumes conhecidos de uma solução padrão de trabalho de $100 \mu\text{g Se mL}^{-1}$ de Se, em uma amostra de alface americana desidratada em pó (tratamento controle). Este padrão foi obtido a partir da diluição (1:10) do padrão estoque de Se de $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Acros Organics, 1 mg mL^{-1}). A concentração da curva de calibração de Se variou de 0 a $30 \mu\text{g g}^{-1}$.

Amostras e padrões (1 g) foram pesados em um recipiente de polietileno (cat.

nº 1530, Chemplex) com abertura de 23,9 mm e selado com filme Mylar® de 6 µm de espessura (nº 3517, Spex). A amostra de pó solto foi suavemente pressionada manualmente com um pistão de acrílico para evitar espaços vazios na amostra de pó. A espessura típica da amostra foi de 7 mm.

2.6.2 Análise de EDXRF de Bancada

As medições de EDXRF de bancada foram realizadas usando um espectrômetro Bruker Tracer 5i equipado com um tubo de raios X de 4W com alvo Rh, utilizando tensão de 50 kV e corrente de 35 microA. Um detector de SDD (Silicon Drift Detector) foi utilizado para aquisição do espectro de raios X da amostra. As condições de medida foram 50 kV, 35 uA, 30 s de medida usando um filtro de Cu 75 µm, Ti 25 µm e Al 200 µm.

2.6.3 Limites de Detecção e Quantificação

O Limite de Detecção (LOD) e o Limite de Quantificação (LOQ) são calculados com base na curva de calibração, utilizando o desvio padrão (SD ou σ) do branco (ou do intercepto) e a inclinação da reta (S). O LOD indica a menor quantidade detectável, enquanto o LOQ é a menor quantidade quantificável com precisão. Os limites de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) do ICP-MS (mg kg⁻¹ base seca) foram calculados com base no desvio padrão (σ , contagens) de 10 leituras do branco da solução padrão, conforme as equações abaixo:

$$LOD = 3,3 \times \frac{\sigma}{S} \quad \text{e} \quad LOQ = 10 \times \frac{\sigma}{S}$$

Onde:

σ : Desvio padrão da resposta (do branco ou da amostra de baixa concentração).

S : Inclinação (sensibilidade) da curva analítica.

2.6.3.1 Definição do limite de detecção (LOD)

O LOD é a menor concentração de uma substância que pode ser distinguida

da ausência dessa substância (branco) com uma confiança estatística definida. De acordo com a Equação 2 de Inczédy *et al.* (2000), ele é calculado multiplicando o desvio padrão do branco por um fator $K = 3$. No EDXRF, a fórmula é expressa em função da taxa de contagem do background (R_b) e do tempo de contagem (t):

$$LOD = \frac{3}{S} \cdot \sqrt{\frac{R_b}{t}}$$

Onde:

S : Sensibilidade analítica (inclinação da curva de calibração).

R_b : Taxa de contagem do background (counts per second).

t : Tempo de medição (segundos).

2.6.3.2 Definição do limite de quantificação (LOQ)

O LOQ representa a menor concentração que pode ser determinada com um nível aceitável de precisão e exatidão. Seguindo a mesma lógica matemática, utiliza-se um fator de rigor maior, geralmente $K = 10$.

$$LOQ = \frac{10}{S} \cdot \sqrt{\frac{R_b}{t}}$$

A diferença entre o EDXRF de bancada e o portátil geralmente reside nos valores de R_b e S uma vez que os equipamentos de bancada possuem detectores mais resfriados e geometrias otimizadas, resultando em LODs e LOQs mais baixos (melhor sensibilidade) em comparação aos dispositivos portáteis.

2.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios indicaram que não houve diferença significativa, entre os tratamentos testados. A concentração de Se no peso (g) fresco de alface americana com raiz, não foi influenciada pelos diferentes tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 - Peso fresco (g) de alface americana com raiz tratada em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	271,71 ($\pm$ 30,54) a1
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	285,92 ($\pm$ 30,54) a1
T6 - Tratamento Controle	299,25 ($\pm$ 30,54) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	302,50 ($\pm$ 30,54) a1
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	317,02 ($\pm$ 30,54) a1
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	323,42 ($\pm$ 30,54) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor

De acordo com Mohammadi, Abbasifar e Valizadehkaji (2022) a aplicação de Se pode aumentar o crescimento, a produtividade e a qualidade das plantas. Os autores, estudando os efeitos das concentrações de selenito de sódio (1, 2 e 4 mg·L⁻¹) e de nanopartículas (NPs) de Se (1, 2 e 4 mg·L⁻¹) sobre as características morfológicas e físico-químicas da alface, observaram que a maioria das soluções nutritivas, especialmente a de 2 mg·L⁻¹ de nanopartículas de selênio (Se NPs), aumentou a altura da planta, o número de folhas e a massa fresca.

Shalaby *et al.* (2017) testando o possível uso de Se a fim de atenuar os efeitos prejudiciais da salinidade do solo em alface, quanto ao crescimento e qualidade da produção da cultura, concluíram que a aplicação de Se (100 ppm) aumentou o peso da cabeça, a área foliar e a massa seca das folhas em 46,4%, 66,4% e 61,8%, respectivamente, em comparação com as plantas controle. O efeito positivo do Se (100 ppm) na alface sob salinidade foi verificado pelos dados de produtividade total, que aumentaram em 42,1% em relação ao controle. Os autores concluíram ainda que em solos afetados por salinidade, a pulverização de alface com Se (100 ppm) melhora o crescimento da planta e a qualidade da produção.

Ramos *et al.* (2010) pesquisaram o efeito da biofortificação de diferentes formas de Se no rendimento e nos sistemas antioxidantes em alface, observaram que o Se proporcionou a produção de biomassa da parte aérea, com aumento de 5,67% e 3,69% com o selenato e o selenito, respectivamente, em baixas concentrações de até 8 e 4 $\mu\text{mol/l}$. No entanto, os autores constataram que o aumento nas concentrações de Se reduziu a produção de biomassa da parte aérea.

Embora os maiores pesos das cabeças de alface nos tratamentos com doses elevadas de Se (T3, T4 e T5) não tenham apresentado diferença significativa em relação ao controle, esse comportamento sugere um possível efeito benéfico do elemento no desenvolvimento das plantas. De fato, o Se é considerado um oligoelemento capaz de promover crescimento e auxiliar na resistência ao estresse oxidativo, biótico e abiótico (Reis *et al.*, 2018). Esse efeito está relacionado ao modo como o nutriente é absorvido e assimilado: as raízes captam o Se principalmente na forma de selenato, selenito ou compostos orgânicos, havendo competição pelos transportadores celulares, e posteriormente o elemento é distribuído para a parte aérea (White *et al.*, 2007).

Os valores médios indicaram que não houve diferença significativa a 5% de probabilidade, entre os tratamentos testados, mostrando que o diâmetro (cm) da cabeça de alface americana, não foi influenciada pelas concentrações de Se (Tabela 3).

Tabela 3 - Diâmetro (cm) da cabeça de alface americana tratadas com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	46,13 ($\pm 2,07$) a1
T6 - Tratamento Controle	46,28 ($\pm 2,07$) a1
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	46,60 ($\pm 2,07$) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	46,98 ($\pm 2,07$) a1
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	46,98 ($\pm 2,07$) a1
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	47,45 ($\pm 2,07$) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor

Yuri *et al.* (2002) ao avaliarem o comportamento de cultivares de alface americana em duas épocas de cultivo, obtiveram resultados inferiores aos

encontrados neste estudo, ao observarem valores entre 40,07 e 42,95 cm para diâmetro da cabeça de plantas colhidas em dezembro e ainda, valores próximos a este estudo, para plantas colhidas em março, entre 41,70 e 48,15 cm.

Yuri *et al.* (2004) encontraram valores inferiores ao obtidos no presente estudo, para diâmetro da cabeça de alface americana com valores entre 38,1 e 44,4 cm, para plantas cultivadas durante os meses de fevereiro a maio, ou seja, mesma época de realização desta pesquisa.

Segundo Sanders (1999) *apud* Yuri *et al.* (2004), a alface americana apresenta o seu desenvolvimento ideal quando a temperatura estiver entre 15,5 e 18,3°C, sendo que temperaturas muito elevadas formam cabeças pouco compactas.

O diâmetro (cm) do colmo não diferiu entre os tratamentos testados (Tabela 4).

Tabela 4 - Diâmetro (cm) do colmo de alface americana tratadas com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	2,07 ($\pm$ 0,15) a1
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	2,13 ($\pm$ 0,15) a1
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	2,15 ($\pm$ 0,15) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	2,23 ($\pm$ 0,15) a1
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	2,23 ($\pm$ 0,15) a1
T6 - Tratamento Controle	2,34 ($\pm$ 0,15) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor

Brzezinski *et al.* (2017) avaliando a produção de quatro cultivares de alface americana, sob dois sistemas de cultivo (túnel baixo e campo aberto) encontraram valores de diâmetro de caule entre 2,31 e 2,77 cm, estando esses valores próximos aos encontrados no presente estudo.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas para o diâmetro do caule, o comportamento das plantas pode estar relacionado ao mecanismo de absorção do Se. Sabe-se que o selenato é mais facilmente translocado para a parte aérea, enquanto o selenito predomina em solos ácidos, o que pode explicar a maior concentração observada nas folhas.

Baixas concentrações de Se têm efeitos benéficos no metabolismo celular da planta (Mohammadi, Abbasifar e Valizadehkaji, 2022). O mecanismo de absorção e

transporte de Se em plantas é influenciado por diversos fatores, incluindo a espécie vegetal, as formas e concentrações de Se, o pH do solo, a atividade microbiana e a atividade dos transportadores. As plantas variam em sua capacidade de acumular Se. O Se absorvido pelas raízes das plantas consiste principalmente em selenito (SeO_3^{2-}) e selenato (SeO_4^{2-}). O selenito ocorre predominantemente em solos fracamente ácidos a neutros, enquanto o selenato é encontrado em solos alcalinos. O Se elementar geralmente é difícil de ser absorvido diretamente pelas plantas e precisa passar por um complexo processo de transformação química antes de ser convertido em uma forma assimilável pelas plantas. Nas plantas, a absorção e o transporte de Se são regulados por uma série de transportadores que facilitam o movimento do Se das raízes para os caules e folhas, garantindo o crescimento e desenvolvimento normais da planta. Após ser absorvido pelas raízes, o selenato pode entrar facilmente na parte aérea da planta através das raízes e é reduzido a selenito nas folhas, que é posteriormente convertido em compostos orgânicos de selênio (Zhou *et al.*, 2025).

Os valores médios indicaram que não houve diferença significativa a 5% de probabilidade, entre os tratamentos testados. Neste sentido, a concentração de Se no peso (g) da raiz fresca de alface americana, não foi influenciada pelos diferentes tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5 - Peso (g) da raiz fresca de alface americana tratada com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T6 - Tratamento Controle	5,64 ($\pm 0,89$) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	7,87 ($\pm 0,89$) a1
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	7,87 ($\pm 0,89$) a1
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	8,83 ($\pm 0,89$) a1
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	9,93 ($\pm 0,89$) a1
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	9,93 ($\pm 0,89$) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor

O impacto da aplicação de Se nas plantas varia de acordo com sua forma química, concentração, espécie vegetal, estágio de desenvolvimento e órgão da planta envolvida. Baixas concentrações de Se são benéficas, porém em excesso

podem ser tóxicas, reduzindo a absorção de nutrientes e desequilibrando o balanço mineral (Assis *et al.*, 2024).

A capacidade das plantas em absorver Se varia de espécie para espécie, seguindo a ordem decrescente: crucíferas, gramíneas, forrageiras, leguminosas e cereais. Entretanto, não se sabe por que as plantas apresentam diferenças na capacidade de acumular e tolerar Se (Malavolta, 1980; Kerbauy, 2004).

O selênio (Se) tem características químicas semelhantes às do enxofre. Pode existir em vários estados de oxidação, mas o preferido pelas plantas é o selenato (SeO_4^{2-}). O sulfato e o selenato competem pelos mesmos sítios ou locais de absorção na membrana plasmática das raízes, e, assim sendo, a absorção de selenato pode ser fortemente reduzida aumentando o suprimento de sulfato às plantas (Kerbauy, 2004). Como observado na análise de solo realizada na área (Tabela 1), os teores de S encontravam-se médios, o que pode ter colaborado para que os níveis de absorção do Se não tenha sido mais intensa.

Os valores médios indicaram que não houve diferença significativa a 5% de probabilidade, entre os tratamentos testados. Desta forma, a concentração de Se no comprimento (cm) da raiz fresca de alface americana, não foi influenciada pelos diferentes tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6 - Comprimento (cm) da raiz fresca de alface americana tratada com diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	7,70 ($\pm 0,92$) a1
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	8,26 ($\pm 0,92$) a1
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	8,26 ($\pm 0,92$) a1
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	8,62 ($\pm 0,92$) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	8,73 ($\pm 0,92$) a1
T6 - Tratamento Controle	10,79 ($\pm 0,92$) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor.

A absorção pelas raízes, seguida pelo carregamento do xilema, é a etapa primária no processo de aquisição e acúmulo de nutrientes nas plantas. Portanto, torna-se importante o conhecimento das formas em que os micronutrientes estão

disponíveis no solo e são absorvidos pelas plantas, juntamente com a disponibilidade e as limitações desses micronutrientes (Bhardwaj *et al.*, 2022; White; Broadly, 2009).

Quando as plantas foram tratadas com concentrações mais altas de Se, houve uma pequena redução na translocação em ambas as formas de Se. A diferença entre selenato e selenito deve-se à alta afinidade entre transportadores de sulfato e selenato, o que facilita sua absorção e translocação (Zhang *et al.* 2003). Quanto aos processos de absorção de selenito, pouco se sabe (Rosen; Liu, 2009). Porém, quando o selenito é absorvido pelas plantas, ele é rapidamente convertido em formas orgânicas de Se nas raízes, que têm baixa mobilidade no xilema (Li, Mcgrath, Zhao, 2008). Provavelmente este mecanismo absorção e translocação, possa explicar o comportamento das raízes frescas deste estudo, uma vez que os valores médios de comprimento diminuíram de acordo com as doses e frequência de aplicação de Se.

Os valores médios indicaram que não houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade, entre os tratamentos testados. Assim, a concentração de Se nas folhas de alface americana não foi influenciada pelos diferentes tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7 - Concentração de Se (mg kg⁻¹ unidades de base seca) em folhas desidratadas de alface americana em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	1,95 (± 0,19) a1
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	1,37 (± 0,19) a1
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	1,32 (± 0,19) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	1,30 (± 0,19) a1
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	1,23 (± 0,19) a1
T6 - Tratamento Controle	1,04 (± 0,19) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor.

Embora não tenha havido diferença significativa, ao se realizar o cálculo da porcentagem entre o Tratamento Controle e o tratamento T1 (2ml/500ml água – aplicação quinzenal), obteve-se o valor de 87,5% referente a concentração de Se nas folhas de alface americana, em comparação ao Tratamento Controle (0 ml de Se) (Tabela 7).

Apesar de não haver informações detalhadas disponíveis na literatura, sobre a fisiologia e a ultraestrutura de plantas cultivadas em condições de campo, em resposta à aplicação foliar de selenito de sódio (Silva *et al.*, 2018), o que se busca em programas de biofortificação com Se é elevar o seu teor, sem comprometer a produção agrícola. A biofortificação com Se em cultivares de alface depende da concentração e da forma de Se aplicada (Ramos *et al.*, 2011).

Embora o selênio e suas nanopartículas compartilhem algumas propriedades comuns e gerais, eles apresentam diferenças importantes com base em suas propriedades químicas, físicas e biológicas únicas. Pode-se citar por exemplo, o fato de o selênio elementar em sua forma pura não ser solúvel em água, mas as nanopartículas de selênio (Se-NPs) serem parcialmente solúveis em água (El-Ramady, 2020).

Francini *et al.* (2023) realizaram experimentos de biofortificação de hortaliças folhosas jovens, utilizando alface, rúcula, espinafre e alface-de-cordeiro. Essas culturas foram cultivadas em sistemas flutuantes com solução nutritiva enriquecida com 0, 2,6, 3,9 e 5,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Se fornecido como selenato de sódio. Nos resultados encontrados pelos autores em peso seco, a rúcula apresentou para a maior concentração de Se (5,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$), o valor de 56 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Se, seguidos de alface e espinafre, com média de 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Se, enquanto a alface-de-cordeiro apresentou valor de 10,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Se.

Ramos *et al.* (2011) estudando diferentes concentrações de selenato e selenito em biofortificação de cultivares de alface, observaram que o teor foliar de Se aumentou com o aumento da sua concentração em solução, para todas as cultivares e formas de Se. Independentemente da concentração aplicada, os teores foliares, em todas as cultivares, foram superiores quando se utilizou o Se na forma de selenato.

A opção mais eficaz para a fertilização com selênio em culturas é a aplicação foliar, com absorção e distribuição duas vezes mais eficientes em comparação com a aplicação no solo ou o tratamento de sementes. A aplicação foliar coloca a solução em contato direto com os estômatos e muito próxima ao mesófilo (Chilimba *et al.*, 2012; Ros *et al.*, 2016).

Uma vez que os micronutrientes entram no xilema, as forças transpiratórias os puxam para cima e os depositam nas folhas da planta. Até essa etapa, as folhas funcionam como um dreno para nutrientes e carboidratos. Durante o crescimento subsequente de uma planta, as folhas se transformam de um dreno (importador de

carbono e nutrientes) em uma fonte (exportador de carbono e nutrientes), e essa transição ocorre quando o armazenamento de carbono pela fotossíntese é maior do que a necessidade de respiração e crescimento (Bhardwaj *et al.*, 2022).

Abdalla *et al.* (2021) investigando os efeitos da aplicação foliar de Se em alfaces verdes e vermelhas cultivadas hidroponicamente, testaram três níveis de selenato quanto à influência no crescimento da planta. Os resultados mostraram que as cabeças de alface biofortificadas com 0,598 mg de Se planta⁻¹ acumularam 19,6-23,6 e 14,9-17,6 µg de Se g⁻¹ de matéria seca nas plantas de alface verdes e vermelhas, respectivamente. Os autores concluíram que os níveis de Se acumulados podem contribuir significativamente para a ingestão diária recomendada de 70 µg dia⁻¹ para homens adultos e 60 µg dia⁻¹ para mulheres adultas (Kipp *et al.*, 2015). E que assim, as cultivares de alface verde e vermelha cultivadas sob a condição de aplicação foliar de Se3 podem suprir a necessidade diária de um adulto do sexo masculino em aproximadamente 100% e 85% a 100%, respectivamente, consumindo 75-90 g ou 100 g de peso fresco de alface verde e vermelha, respectivamente.

Levando-se em conta que no Brasil o consumo *per capita* de folhas frescas de alface é de 33,3 g dia⁻¹ (Yuri *et al.*, 2005), que a alface apresenta 4 % de matéria seca (Faquin; Andrade, 2004) e que a recomendação de ingestão de Se em adultos é de 50-70 µg dia⁻¹ (Kipp *et al.*, 2015), Rios *et al.* (2008) verificaram que o teor encontrado de Se na parte aérea, quando se aplicou o selenato na concentração de 10 µmol L⁻¹, a qual não comprometeu a produção, atendeu em aproximadamente 5% à recomendação de ingestão de Se em humanos, independentemente da cultivar de alface.

As plantas se diferenciam muito quanto a sua habilidade em acumular selênio nos tecidos (Rosenfeld; Beath, 1964). Assim, a absorção de Se pelas plantas também é determinada pela espécie vegetal e, como as culturas são o primeiro elo da cadeia alimentar, sua capacidade de acumular Se é crucial para a nutrição e saúde humana. A biofortificação agrônômica é uma prática comum para enriquecer a concentração de Se em culturas produzidas em solos deficientes em Se (Hossain *et al.*, 2021). O método é considerado seguro, pois as chances de superdosagem por meio do consumo de alimentos vegetais são baixas (Terry *et al.*, 2001), uma vez que o Se ocorre principalmente na fração proteica de frutas e vegetais (Santos; Silva Júnior; Muccillo-Baisch, 2017). A concentração de Se nas plantas é de 1-2 mg kg⁻¹ de matéria seca e raramente ultrapassa 10 mg kg⁻¹ de matéria seca, mesmo em solos ricos em

selênio (Winkel *et al.*, 2015).

A distribuição de Se nas várias partes da planta se diferencia de acordo com a espécie, a fase de desenvolvimento e as condições fisiológicas. Em plantas acumuladoras de Se, esse é acumulado em folhas jovens durante a fase vegetativa, enquanto durante a fase reprodutiva são encontrados níveis altos de Se em sementes, sendo o seu conteúdo em folhas drasticamente reduzido. Essa distribuição também nas plantas depende da fonte, concentração e disponibilidade às raízes, natureza e concentração de outras substâncias, especialmente sulfatos acompanhando o elemento (Souza *et al.*, 1998; Zayed, Lytle; Terry, 1998).

A aplicação de Se em baixa concentração aumenta as propriedades antioxidantes de plantas superiores, refletindo a redução de espécies reativas de oxigênio (Moulick *et al.*, 2016). O selênio é capaz de promover um reforço na capacidade das plantas de combater o estresse oxidativo causados pelos radicais livres de oxigênio, mantendo-as fisiologicamente ativas por mais tempo, aumentando a produção vegetal (Ramos *et al.*, 2011).

Estima-se que a deficiência de Se seja um problema para mais de 1 bilhão de pessoas no mundo (Schiavon; Pilon-Smits, 2017). Humanos e animais se alimentam de plantas, que absorvem Se do solo ou de soluções nutritivas em cultivos hidropônicos (Joy *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2017). A suplementação de Se em plantas pode ser uma estratégia importante para aumentar a ingestão diária desse elemento por humanos e animais (White; Broadley, 2009; Reis *et al.*, 2017). Portanto, é extremamente relevante compreender os mecanismos fisiológicos e bioquímicos de como sementes e plantas se comportam em ambientes contaminados ou na presença de altas concentrações de Se no solo (Schiavon; Pilon-Smits, 2017).

Os valores médios indicaram que não houve diferença significativa a 5% de probabilidade, entre os tratamentos testados. Assim, a concentração de Se nas raízes de alface americana não foi influenciada pelos diferentes tratamentos (Tabela 8).

Tabela 8 - Concentração de Se (mg kg⁻¹ unidades de base seca) em raízes desidratadas de alface americana em diferentes dosagens e frequências de aplicações com fertilizante nanoencapsulado de Se, Sarandi/PR.

TRATAMENTOS	MÉDIAS
T3 - 3ml/500ml água – aplicação Quinzenal	1,22 (± 0,14) a1
T1 – 2ml/500ml água – aplicação Quinzenal	1,13 (± 0,14) a1
T2 - 2ml/500ml água – aplicação Semanal	1,09 (± 0,14) a1
T4 - 3ml/500ml água – aplicação Semanal	1,08 (± 0,14) a1
T5 - 3ml/500ml água – aplicação 15 dias após o transplante	0,99 (± 0,14) a1
T6 - Tratamento Controle	0,98 (± 0,14) a1

Médias iguais na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Médias Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor

Apesar de não ter havido diferença estatística significativa, ao se realizar o cálculo da porcentagem entre o Tratamento Controle e o tratamento T3 (3ml/500ml água – aplicação quinzenal), obteve-se o valor de 24,5% referente a concentração de Se nas raízes de alface americana, em comparação ao Tratamento Controle (0 ml de Se) (Tabela 8).

Ramos *et al.* (2011) utilizando a biofortificação de diferentes concentrações de selenato e selenito na produção de cultivares de alface, verificaram que para todas as cultivares, o aumento das concentrações de Se de 10 para 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, em ambas as formas de Se aplicadas, diminuiu a produção de massa seca da parte aérea e raiz, à exceção da cultivar Veneranda, para parte aérea e raiz e Vera e Rafaela, para a raiz, quando cultivadas na presença do selenato. Neste sentido, pode-se verificar comportamento divergente nos resultados encontrados neste estudo, uma vez que os tratamentos com doses maiores de Se, proporcionaram aumento na concentração de Se em raízes desidratadas de alface americana quando comparadas ao Tratamento Controle, ainda que não tenha havido diferença estatística significativa.

As concentrações de selênio (Se) em produtos alimentícios agrícolas dependem da disponibilidade desse elemento no solo (Joy *et al.*, 2015). As concentrações de Se tendem a ser muito baixas (abaixo de 1 mg kg⁻¹) em plantas que crescem em condições ácidas e intemperizadas, como solos tropicais (Pilon-Smits *et al.*, 2009).

As plantas não utilizam a mesma estratégia para absorver todos os nutrientes (Bhardwaj *et al.*, 2022). O transporte de nutrientes das raízes para as folhas ocorre

via xilema, enquanto a translocação subsequente das folhas para outras partes da planta, como frutos e grãos, por exemplo, ocorre via floema. O descarregamento e o carregamento do xilema não são muito bem caracterizados, portanto, representam uma limitação para a compreensão da translocação de nutrientes das folhas para os grãos ou outras partes comestíveis de uma planta. Nutrientes como Se e Mg são transportados rapidamente pelo floema, enquanto outros nutrientes como Fe, Zn, Cu, Ca e I apresentam pouca mobilidade no floema (White; Broadley, 2003). Devido a isso, tecidos irrigados pelo floema, como frutos, grãos e tubérculos, são uma fonte pobre de nutrientes em comparação com hortaliças folhosas, nas quais os nutrientes são translocados pelo xilema (White; Broadley, 2009).

Além disso, quando ocorre aplicação de fertilizantes foliares através da pulverização, os micronutrientes penetram pela cutícula e pelos estômatos presentes na superfície da folha e se acumulam diretamente no floema; portanto, essa via seria mais curta do que a absorção pelas raízes, e esse modo de aplicação pode ser mais eficiente do ponto de vista da biofortificação (Bhardwaj *et al.*, 2022). Provavelmente devido a este mecanismo, as folhas pulverizadas com Se apresentaram valores de concentrações maiores (Tabela 7), quando comparados aos valores de concentrações de Se nas raízes (Tabela 8).

A nanobiofortificação é uma nova abordagem biotecnológica utilizada para enriquecer diferentes culturas com diversos nutrientes essenciais em nanoescala, visando fornecer uma dieta balanceada para humanos (El-Ramady *et al.*, 2021a). A nanobiofortificação pode ser alcançada pela aplicação de nutrientes essenciais (principalmente Cu, Fe, Se e Zn) como nanofertilizantes, por meio de aplicação foliar, no solo ou em sistemas hidropônicos (El-Ramady *et al.*, 2021a, b). As hortaliças são conhecidas por seu curto período de crescimento, que às vezes dura de 2 a 3 meses. Esse curto período de crescimento torna o processo de biofortificação mais crítico do que o de outras culturas, cujo crescimento pode se estender por um ano ou mais. Portanto, os programas de biofortificação de hortaliças são especialmente importantes devido aos curtos períodos de crescimento, à toxicidade esperada após a aplicação de altas doses de nutrientes e ao cultivo sob condições de estresse (El-Ramady *et al.*, 2021a).

4 CONCLUSÃO

Com o presente estudo pode-se concluir que, apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas nas concentrações de Selênio (mg kg^{-1} unidades de base seca) em folhas e raízes desidratadas de alface americana, com a utilização de diferentes dosagens e frequências de aplicações através do uso de fertilizante nanoencapsulado, pode-se observar um incremento de 87,5% na concentração das folhas e 24,5% na concentração das raízes, em comparação ao Tratamento Controle.

Os valores de peso da cabeça com raiz, diâmetro da cabeça, diâmetro do colmo, peso de raiz fresca e comprimento de raiz fresca também não apresentaram diferenças significativas, em comparação ao Tratamento Controle, com a utilização de fertilizante nanoencapsulado de Selênio em diferentes dosagens e frequências de aplicações.

Entretanto, com os avanços recentes, observa-se na biofortificação um método eficiente para combater a deficiência de micronutrientes, por ser viável, econômico e confiável em adicionar nutrientes à dieta humana.

Para isso, a nanotecnologia oferece uma maneira inovadora e eficiente para a prática agrícola melhorar a produtividade das culturas. Assim, a biofortificação aliada a nanotecnologia, mostra-se uma ferramenta promissora na produção de hortaliças biofortificadas, especialmente com nano selênio, essencial para a saúde humana.

Sabendo-se que cerca de metade da população mundial sofre com a desnutrição de Ferro, Zinco e Selênio e, somando-se o fato de que melhorar a concentração de micronutrientes tornou-se uma tarefa urgente, sugere-se a realização de outras pesquisas que busquem estudar como biofortificar diferentes culturas com Se, a fim de aumentar sua ingestão pela população brasileira, que apresenta indicativo de baixo consumo desse nutriente.

5 REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. A.; WICK, J. E.; FAMUYIDE, I. M.; MCGAW, L. J.; MÜHLING, K. H. Selenium Enrichment of Green and Red Lettuce and the Induction of Radical Scavenging Potential. **Horticulturae**. n. 7, 488, 2021.

ALENCAR, T. A.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde**, v.7, n.3, p.53-67, 2012.

ALFTHAN, G. *et al.* Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: from deficiency to optimal selenium status of the population. **J. Trace Elem. Med. Biol.**, v. 31, p. 142-147, 2015.

ASSIS, V. C. S. S. de *et al.* Dinâmica do selênio no sistema solo planta e sua participação no metabolismo e nutrição de plantas: uma revisão. **Revista Observatório De La Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 9, p. e6670, 2024. Disponível em:

<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/6670>.

Acesso em: 25 nov. 2025.

BABAKNEJAD, N. *et al.* The relationship between selenium levels and breast cancer: a systematic review and meta-analysis. **Biol Trace Elem Res**. v.159, n. 1-7, 2014.

BACHIEGA, P. *et al.* Benchtop and Handheld Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) as Alternative for Selenium Concentration Measurement in Biofortified Broccoli Seedling. *Food Analytical Methods*. July, 2019.

BACHIEGA, P. *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea Italica*) biofortified with selenium. **Food Chem.** v. 190, p. 771- 776, 2016.

BHARDWAJ, A. K. *et al.* Switching to nanonutrients for sustaining agroecosystems and environment: the challenges and benefits in moving up from ionic to particle feeding. **Journal Nanobiotechnology**, v.20, n.1, p.1-28. 2022.

BHERING, S. B. *et al.* **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 73p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/339505> Acesso em: 16 dez. 2025.

BOLDRIN, P. *et al.* Selenato e selenito na produção e biofortificação agronômica com selênio em arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, p. 831-837, 2012.

BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, v. 12, p. 49-58, 2017.

BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; GELLER, A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C. Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivo. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 64, n.1, p. 083-089, jan/fev, 2017.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant Soil**, v.302, p.1-17, 2008.

CEAGESP. **Saiba mais sobre a alface crespa, produto destaque da semana**. 2021. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/saiba-mais-sobre-a-alfacecrespa-produto-destaque-da-semana-0106/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

CHEN, Z.; LU, Y.; DUN, X.; WANG, X.; WANG, H. Research Progress of Selenium-Enriched Food. **Nutrients**, v. 15, 4189, 2023.

CHILIMBA, A.D.C. *et al.* Agronomic biofortification of maize with selenium (Se) in Malawi. **Field Crops Research**, v. 125, p. 118-128, 2012.

COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade dos nutrientes – Vitamina C. São Paulo: **Editora Manole**, 1368 p, 2005.

DIMKOVIKJ, A.; VAN HOEWYK, D. Selenite activates the alternative oxidase pathway and alters primary metabolism in Brassica napus roots: evidence of a mitochondrial stress response. **BMC Plant Biology**, v.14, p.1-15, 2014.

DOMINGUES, B. C. L. *et al.* Suplementos Alimentares: Aspectos Químicos e Aplicações de Macro e Micronutrientes. **Revista Virtual de Química**, v. 15, n. 3, 2023.

DUNTAS, L. H.; BENVENGA, S. Selenium: an element for life. **Endocrine**, v.48, p.756-775, 2015.

EL-RAMADY, H. *et al.* Is Nano-Biofortification the Right Approach for Malnutrition in the Era of COVID-19 and Climate change? **Egypt. J. Soil. Sci.** v.61, n. 2, p. 161-173, 2021b.

EL-RAMADY, H. *et al.* Nano-biofortification of different crops to immune against

COVID-19: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 222, 2021a.

FAQUIN, V.; ANDRADE, A.T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras, UFLA/FAEPE, 2004. 88p.

FERREIRA, K.S.; GOMES, J.C.; BELLATO, C.R.; JORDÃO, C.P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **R. Panam. Salud Publica**, 11:172-177, 2002.

FERREIRA, R. L. da C. **Biofortificação e toxicidade de selênio na cultura da alface em solução nutritiva**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2016, 36 p.

FRANCINI, A.; QUATTRINI, E.; GIUFFRIDAC, F.; FERRANTE, A. **J. Sci. Food Agric.** 103, p. 5472-5480, 2023.

GRAHAM, R. D. *et al.* Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p.1-74, 2007.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; MATRASZEK, R.; POGORZELEC, M. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.37, p.37-41, 2015.

HIRSCHI, K. Nutrient biofortification of food crops. **Annual review of nutrition**, v. 29, p. 401-421, 2009.

HOSSAIN, A. *et al.* Biofortificação com selênio: funções, mecanismos, respostas e perspectivas. **Molecules**, v.26, p. 881, 2021.

HOTZ, C. *et al.* Introduction of β -carotene-rich orange sweet potato in rural Uganda resulted in increased vitamin A intakes among children and women and improved vitamin A status among children. **The Journal of Nutrition**, v. 142, n. 10, p. 1871-1880, 2012.

INCZÉDY, J.; LENGYEL, T.; URE, A. M. Compendium on analytical nomenclature. **International Union of Pure and Applied Chemistry**. 2000. Disponível em: http://media.iupac.org/publications/analytical_compendium/. Acesso em: 28 ago.

2025.

INOCÊNCIO, M. **Frações de zinco no solo e biofortificação agronômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

IVORY, K.; NICOLETTI, C. Selenium is a source of aliment and ailment: dowe needmore? **Trends Food Sci Technol**, v. 62, p.190-193, 2017.

JAYAPRAKASH, V.; MARSHALL, J.R. Selenium and other antioxidants for chemoprevention of gastrointestinal cancers. **Best Pract Res Clin Gastroenterol**, v. 25, n. 4–5, p. 507-518, 2011.

JOY, E. J. M. *et al.* Zinc-enriched fertilizers as a potential public health intervention in Africa. **Plant Soil**. v. 389, p. 1-24, 2015.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2004.

KHOSO, P.A.; YANG, Z.; LIU, C.; LI, S. Selenium deficiency downregulates selenoproteins and suppresses immune function in chicken thymus. **Biol Trace Elem Res**, v. 167, n. 1, p.48-55, 2015.

LI, H.; MCGRATH, S., ZHAO, F. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. **New Phytologist**, v.178, p. 92-102, 2008.

LOPES, C.A.; PEDROSO, M.T.M. **Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 433p.

MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M.; DALL'ACQUA, S., PILON-SMITS, E. A. H. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontiers in Plant Science**, v.6, article 280, 2015.

MARZULLO, Y. O. T. **Biofortificação com selênio na batata-doce**. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, 2021.

MBNE. Meeting Brasileiro de nutrição estética. **Os principais micronutrientes**

evidenciados na nutrição estética. 2018. Disponível em: <https://nutricaoesteticabrasil.com.br/micronutrientes-na-nutricao-esteita/>. Acesso em: 28 ago. 2023.

MEENAKSHI, J. *et al.* How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex ante assessment. **World Development**, v. 38, n. 1, p. 64-75, 2010.

MEHDI, Y.; HORNICK, J. L.; ISTASSE, L.; DUFRASNE, I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. **Molecules**, v. 18, n. 3, p.3292-3311, 2013.

MOHAMMADI, M.; ABBASIFAR, A.; VALIZADEHKAJI, B. Nitrate accumulation and physicochemical characteristics of lettuce as affected by sodium selenite and synthesized selenium nanoparticles. **International Journal of Vegetable Science**, v.28, n. 6, p. 570-582, 2022.

MONELLI, R. G. **Biofortificação de alimentos com selênio.** Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Agronomia, Universidade Brasil. Descalvado: [s.n.], 2016. 35p. Disponível em: <https://repositorioacademico.universidadebrasil.edu.br/server/api/core/bitstreams/99e08274-009f-4b8f-9be7-80ad8acadcea/content> Acesso em: 28 ago. 2025.

MONTEIRO, C.A. *et al.* Ultra-processed foods: What they are and how to identify them. **Public Health Nutr**; v. 22, n. 5, p. 936-941, 2019.

MORAES, L. L. **Micronutrientes antioxidantes no exercício físico: uma revisão da literatura.** 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/23889/1/MORAES%2c%20Lucas%20Lambert.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MORAES, M. F.; WELCH, R. M.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. **Evidences of selenium deficiency in Brazil: From soil to human nutrition.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SELENIUM IN THE ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH, 1., Suzhou, 2009. Proceedings... Suzhou, 2009. p.73-74.

MOULICK, D.; GHOSH, D.; CHANDRA, S. S. Evaluation of effectiveness of seed priming with selenium in rice during germination under arsenic stress. **Plant**

Physiology and Biochemistry, v. 109, p. 571-578. 2016.

NESTEL, P. *et al.* Biofortification of staple food crops. **The Journal of Nutrition**, v. 136, n. 4, p. 1064-1067, 2006

NITSCHKE, P. R. *et al.* **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná, 2019. 210p. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf> Acesso em: 16 dez. 2025.

NUNES, R. G. F. L. *et al.* Selenium bioaccumulation in shiitake mushrooms: a nutritional alternative source of this element. **J. Food Sci.** v. 77, n.9, C983–C986, 2012.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; RODRIGUES, P. S. M. O progresso das ações de biofortificação do Brasil. **Boletim Informativo da SBSCS**, v. 42, n. 1, p. 24–27, 2016.

ORTELAM, A. *et al.* Superalimentos: fundamentação científica. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, Umuarama, v.26, n. 3, p. 1127-1148, set/dez. 2022.

OTTEN, J. J.; HELLWIG, P.; MEYERS, D. M. **Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements**. The National Academies Press, Washington. 2006.

PEREIRA, R. Z. **Fontes e doses de selênio no feijão-caupi: efeitos na qualidade fisiológica de sementes**. 2019. 38f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2019.

PILON-SMITS, E. A. H. *et al.* Physiological functions of beneficial elements. **Curr. Opin. Plant Biol.** v. 12, n. 3, p. 267-274, 2009.

PRAUCHNER, C. A. **A importância do selênio para a agropecuária e saúde humana**. 1. ed. Santa Maria: Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2020. 376p.

QAIM, M.; STEIN, A.; MEENAKSHI, J. Economics of biofortification. **Agricultural Economics**, v. 37, p. 119-133, 2007.

RAMOS, S. J. *et al.* Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants

fed with selenate and selenite. **Plant Soil Environ.**, v. 56, n. 12, p. 584-588, 2010.

RAMOS, S. J. *et al.* Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1347-1355, 2011.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake, **Proc. Nutr. Soc.**, 61(2), 203-215, 2002.

RAYMAN, M. P. The importance of selenium to human health. **Lancet**, 356(9225):233–241. 2000.

REIS, A. R. *et al.* A glimpse into the physiological, biochemical and nutritional status of soybean plants under Ni-stress conditions. **Environmental and Experimental Botany**, 144, 78-87, 2017.

REIS, H. P. G. *et al.* Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 508-515, 2018.

RIOS, J. J.; ROSALES, M. A.; BLASCO, B.; CERVILLA, L. M.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. **Scientia Horticulturae**, v.116, p.248-255, 2008.

ROMAN, M, JITARU, P, BARBANTE, C. Selenium biochemistry and its role for human health. **Metallomics**. v. 6, n. 1, p.25-54, 2014.

ROS, G.H.; VAN ROTTERDAM, A.M.D.; BUSSINK, D.W.; BINDRABAN, P.S. Selenium fertilization strategies for food biofortification: an agroecosystem approach. **Plant Soil**, v.404, p.99-112, 2016.

ROSEN, B. P.; LIU, Z. Transport pathways for arsenic and selenium: a minireview. **Environment International**, v.35, p.512-515, 2009.

ROSENFELD, I.; BEATH, O. A. **Selenium, geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition**. New York: Academic, 1964. 213p.

RUEL-BERGERON, J. C. *et al.* Global update and trends of hidden hunger, 1995-

2011: the hidden hunger index. **Journal Plos One**, v. 10, n. 12, p. e0143497, 2015.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. D. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.30, n.2, p.187-194, 2012.

SALTZMAN, A. *et al.* Biofortification: progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, v. 2, n. 1, p. 9-17, 2013.

SANTOS, M.; SILVA JÚNIOR, F.; MUCCILLO-BAISCH, A. Teor de selênio em alimentos brasileiros: uma revisão dos valores da literatura. **J. Food Compos. Anal.** v.58, p.10-15, 2017.

SCHIAVON, M., PILON-SMITS, E.A.H. The fascinating facets of plant selenium accumulation - biochemistry, physiology, evolution and ecology. **New Phytologist**, v. 213, p.1582-1596. 2017.

SEIXAS, T. G.; KEHRIG, H. do A. O selênio no meio ambiente. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 264-276, 2007.

SHALABY, T.; BAYOUMI, Y.; ALSHAAL, T.; ELHAWAT, N.; SZTRIK, A.; EL-RAMADY, H. Selenium fortification induces growth, antioxidant activity, yield and nutritional quality of lettuce in salt-affected soil using foliar and soil applications. **Plant and Soil**. n.421, p. 245-258, 2017.

SHIBATA, Yasuyuki; MORITA, Masatoshi; FUWA, Keiichiro. Selenium and arsenic in biology: their chemical forms and biological functions. **Advances in Biophysics**, v. 28, p. 31- 80, 1992.

SILVA, F.P. *et al.* Biofortificação de lítio, selênio e zinco em basidiomicetos: uma nova opção de suplementação. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, Umuarama, v. 28, n. 3, p. 713–736, 2024.

SILVA, V. M. *et al.* Physiological, biochemical, and ultrastructural characterization of selenium toxicity in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**. v.150, p. 172-182. 2018.

SOUZA, M. P. *et al.* Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. **Plant Physiology**, v.117, p.1487-1494, 1998.

TERRY, N.; ZAYED, A. M.; SOUZA, M. P.; TARUN, A. S. Selênio em plantas superiores. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v.51, p. 401-432, 2001.

VIEIRA, J. C. R. **Agricultura no combate a fome oculta**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, 2022, 38p.

WHITE, P. J., BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Ann. Bot.** v.92, p.487-511, 2003.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets -iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytol.** v.182, p.49-84, 2009.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R; BOWEN, H. C.; JOHNSON, S. E. Selenium and its relationship with sulfur. In: HAWKESFORD, M. J.; KOK, L. J. D. **Sulfur in plants**. The Netherlands: Springer, 2007. p.225-252.

WICHMAN, J.; WINTHER, K. H.; BONNEMA, S. J.; HEGEDÜS, L. Selenium supplementation significantly reduces thyroid autoantibody levels in patients with chronic autoimmune thyroiditis: a systematic review and meta-analysis. **Thyroid**. v,26, n.12, p.1681-1692, 2016.

WINKEL, L. H. E. *et al.* Ciclagem do selênio através das interfaces solo-planta-atmosfera: uma revisão crítica. **Nutrients**, n.7, p. 4199-4239, 2015.

YURI, J. E. *et al.* Comportamento de cultivares de alface americana em Santana da Vargem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.249-252, abril-junho, 2004

YURI, J. E.; SOUZA, R. J.; FREITAS, S. A. C. RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; MOTA, J. H. Comportamento de cultivares de alface tipo americana em Boa Esperança. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 229-232, junho, 2002.

YURI, J. E.; SOUZA, R. J.; RESENDE, G. M.; MOTA, J. H. Comportamento de cultivares de alface americana em Santo Antônio do Amparo. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 870-874, 2005.

ZAYED, A.; LYTLE, C. M.; TERRY, N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. **Planta**, v.206, p.284-292, 1998.

ZHANG, Y.; PAN, G.; CHEN, J.; HU, Q. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. **Plant and Soil**, v.253, p. 437-443, 2003.

ZHAO, F.J. *et al.* Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. **J. Cereal Sci.**, v. 49, p. 290-295, 2009.

5 CONCLUSÃO GERAL

Pode-se concluir através da caracterização físico-química e bioquímica para quantificar compostos bioativos e atividade antioxidante de produtos processados de tomate, que independente da forma de cultivo e dos produtos, o teor de licopeno apresentou acréscimos a medida em que aumentaram os tempos de armazenamento dos produtos.

Quanto a qualidade sensorial, os valores das notas atribuídas pelos provadores mostraram que os produtos tiveram aceitação em ordem de preferência: molho de tomate, catchup e tomate seco. Este resultado provavelmente ocorreu devido ao molho ser um produto mais consumido popularmente, seguido do catchup. O molho de tomate proveniente de tomates cultivados no sistema orgânico, mostrou-se mais preferido pelos provadores em comparação ao cultivo semi hidropônico.

Pode-se constatar que o processamento térmico de tomates propiciou além do aumento da vida útil dos produtos processados, o aumento da concentração da atividade antioxidante, diretamente relacionada a estabilizar radicais livres, principalmente do licopeno, flavonoides e vitamina C presentes nos produtos.

Para uma melhor compreensão dos mecanismos de ação antioxidante nestes produtos através das formas de cultivo realizadas, sugere-se que estudos complementares sejam realizados a fim de verificar a relação sinérgica entre as diferentes condições de cultivo, tempos de armazenamento e concentração da atividade antioxidante presentes no tomate.

Por sua vez, conclui-se que a biofortificação é um método eficiente para combater a deficiência de micronutrientes, por ser viável, econômico e confiável em adicionar nutrientes à dieta humana. Para isso, a nanotecnologia oferece uma maneira inovadora e eficiente para a prática agrícola melhorar a produtividade das culturas. Assim, a biofortificação aliada a nanotecnologia, mostra-se uma ferramenta promissora na produção de hortaliças biofortificadas, especialmente com nano selênio, essencial para a saúde humana.

Sabendo-se que cerca de metade da população mundial sofre com a desnutrição de Ferro, Zinco e Selênio e que, melhorar a concentração de micronutrientes tornou-se uma tarefa urgente, sugere-se realizar outras pesquisas que estudem como biofortificar diferentes culturas com Se, a fim de aumentar sua ingestão pela população brasileira que apresenta baixo consumo desse nutriente.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Ficha de avaliação sensorial

NOME: _____ Idade: _____

Você está recebendo uma amostra de CATCHUP. Por favor, prove a amostra e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou do produto. Comente sua escolha.

Amostra:

- 9 - gostei muitíssimo
- 8 - gostei muito
- 7 - gostei moderadamente
- 6 - gostei ligeiramente
- 5 - nem gostei/nem desgostei
- 4 - desgostei ligeiramente
- 3 - desgostei moderadamente
- 2 - desgostei muito
- 1 - desgostei muitíssimo

Cite o que você **mais gostou** na amostra:_____
Cite o que você **menos gostou** na amostra:
