

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento**

CAMILLA DA SILVA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS DE COMPOSTOS
BIOATIVOS E MINERAIS EM TOMATES PROCESSADOS**

**TUPÃ
2025**

CAMILLA DA SILVA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS DE COMPOSTOS BIOATIVOS E
MINERAIS EM TOMATES PROCESSADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências, área Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Competitividade de Sistemas Agroindustriais

Orientador: Profa. Dra. Angela Vacaro de Souza

Coorientadores: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti,
Dra. Pamela Nayara Modesto

TUPÃ

2025

P436a

Pereira, Camilla da Silva

Avaliação das Alterações Nutricionais de Compostos Bioativos e Minerais em Tomates Processados / Camilla da Silva Pereira. -- Tupã, 2025

96 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã

Orientadora: Angela Vacaro de Souza

Coorientadora: Fernando Ferrari Putti

1. Tomate. 2. Processamento térmico. 3. Compostos bioativos. 4. Qualidade nutricional. I. Título.

Impacto potencial desta pesquisa

A dissertação contribui para o entendimento de como diferentes métodos de processamento (cocção, desidratação e liofilização) afetam os compostos bioativos e minerais de diferentes variedades de tomate. Os resultados auxiliam na escolha de técnicas que melhor preservam o valor nutricional, especialmente carotenoides, fenólicos e minerais, contribuindo para a produção de alimentos mais saudáveis e funcionais. O estudo possui impacto científico, tecnológico e social, pois fornece subsídios para a indústria, pesquisadores e produtores, estimulando processos mais eficientes e sustentáveis no agronegócio, além disso, está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, 3 e 12), por promover segurança alimentar, saúde e uso responsável de recursos.

Potential Impact of This Research

This dissertation contributes to understanding how different processing methods (cooking, dehydration, and freeze-drying) affect the bioactive compounds and minerals of various tomato varieties. The results support the selection of techniques that best preserve nutritional value particularly carotenoids, phenolics, and minerals thus contributing to the production of healthier and more functional foods. The study has scientific, technological, and social impact, as it provides valuable insights for industry, researchers, and producers, encouraging more efficient and sustainable processes in agribusiness. Furthermore, it aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs 2, 3, and 12) by promoting food security, health, and the responsible use of resources.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS DE COMPOSTOS BIOATIVOS E MINERAIS EM TOMATES PROCESSADOS

AUTORA: CAMILLA DA SILVA PEREIRA
ORIENTADORA: ANGELA VACARO DE SOUZA
COORDINADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI
COORDINADORA: PAMELA NAYARA MODESTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências, pela Comissão Examinadora:

Angela Vacaro de Souza

Prof.^a Dr.^a ANGELA VACARO DE SOUZA (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia de Biosistemas / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE

Adriane Gasparino dos Santos Martinez Uribe

Profa. Dra. ADRIANE GASPARINO DOS SANTOS MARTINEZ URIBE (Participação Presencial)
Docente do Curso de Gastronomia / Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE - Presidente Prudente/SP

Willian Aparecido Leoti Zanetti

Dr. WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI (Participação Presencial)
Ibiagü Análises Agrícolas

Tupã, 12 de dezembro de 2025.

Dedico a minha família que tanto me apoiou durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido a oportunidade de realizar um desejo antigo: cursar o mestrado. Hoje compreendo que tudo acontece no tempo d'Ele. Sei que Deus é real, que Jesus Cristo é Seu Filho e que ambos me amam e caminham comigo em cada etapa desta jornada terrena.

Agradeço profundamente à minha família pelo apoio incondicional, incentivo e força durante todo o percurso do mestrado, com eles, tudo se tornou mais leve e possível.

À Profa. Dra. Angela Vacaro de Souza, minha orientadora, expresso minha sincera gratidão pela acolhida desde o início, pela atenção, paciência e por compartilhar comigo seus conhecimentos com tanta generosidade. Agradeço, sobretudo, por ser uma pessoa excepcional, humana e inspiradora.

Estendo meus agradecimentos a todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento (PGAD) da FCE/UNESP, pelo conhecimento transmitido, pelas discussões enriquecedoras e pela contribuição para minha formação acadêmica e pessoal.

Agradeço também à equipe do Laboratório de Química, Yasmin S. Tadayozzi, Jéssica Serafim e Rafaela Lourenço, pela parceria, colaboração e companheirismo ao longo da realização deste trabalho.

Por fim, agradeço à Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP, câmpus de Tupã, pela criação e manutenção deste programa tão inspirador, que tem contribuído de forma significativa para o meu crescimento profissional e científico.

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

CAMILLA DA SILVA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS DE COMPOSTOS
BIOATIVOS E MINERAIS EM TOMATES PROCESSADOS**

TUPÃ

2025

PEREIRA, Camilla da Silva. **Avaliação das alterações nutricionais de compostos bioativos e minerais em tomates processados**. 2025. 96 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2025.

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) destaca-se entre as hortaliças mais consumidas no mundo por seu elevado valor nutricional e funcional, sendo fonte relevante de compostos bioativos como licopeno, carotenoides, fenólicos e vitaminas, associados à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. No Brasil, o tomate ocupa posição de destaque tanto na produção quanto no processamento industrial, resultando em ampla variedade de derivados como molhos, extratos e produtos desidratados. Entretanto, os tratamentos térmicos aplicados durante o processamento podem modificar a concentração e a biodisponibilidade dos nutrientes, dependendo da variedade e do método empregado. Esta dissertação foi estruturada em três capítulos complementares. O primeiro apresenta uma revisão sistematizada da literatura sobre os efeitos do processamento térmico na estabilidade e na funcionalidade de compostos bioativos do tomate. O segundo capítulo descreve o estudo experimental realizado com sete variedades de tomate (‘Grape 1’, ‘Grape 2’, ‘Mesa’, ‘Pizzadoro’, ‘Longa Vida’, ‘Coquetel’ e ‘Amarelo’) submetidas a diferentes métodos de processamento (cocção, desidratação e liofilização), com avaliação quantitativa de minerais e compostos bioativos. Os resultados indicaram que a liofilização apresentou maior eficiência na preservação de carotenoides e minerais, enquanto a desidratação concentrou compostos fenólicos. Por fim, o terceiro capítulo discute o papel do tomate e de seus derivados na promoção da saúde e bem-estar, destacando evidências recentes sobre suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, fotoprotetoras e preventivas contra doenças cardiovasculares e cânceres. De forma integrada, a pesquisa reforça a importância do tomate como alimento funcional e evidencia que a escolha adequada da variedade e do tipo de processamento é determinante para a manutenção de sua qualidade nutricional e para o aproveitamento tecnológico sustentável do fruto.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; processamento e conservação; compostos bioativos; saúde e bem-estar.

PEREIRA, Camilla da Silva. **Evaluation of nutritional changes in bioactive compounds and minerals in processed tomatoes.** 2025. 96 pages. Dissertation (Master's in Agribusiness and Development) – Faculty of Science and Engineering, São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2025

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) stands out among the most consumed vegetables worldwide due to its high nutritional and functional value, being a relevant source of bioactive compounds such as lycopene, carotenoids, phenolics, and vitamins, which are associated with the prevention of chronic noncommunicable diseases. In Brazil, tomato occupies a prominent position in both fresh and processed forms, resulting in a wide range of industrialized products such as sauces, extracts, and dehydrated tomatoes. However, the thermal treatments applied during processing may modify the concentration and bioavailability of nutrients, depending on the variety and the processing conditions. This dissertation is structured in three complementary chapters. The first chapter presents a systematized review of the literature regarding the effects of thermal processing on the stability and functionality of bioactive compounds in tomatoes. The second chapter describes the experimental study conducted with seven tomato varieties ('Grape 1', 'Grape 2', 'Mesa', 'Pizzadoro', 'Longa Vida', 'Coquetel', and 'Amarelo') subjected to different processing methods (cooking, dehydration, and freeze-drying), with quantitative evaluation of minerals and bioactive compounds. The results indicated that freeze-drying was the most efficient method for preserving carotenoids and minerals, while dehydration promoted the concentration of phenolic compounds. Finally, the third chapter discusses the role of tomato and its derivatives in promoting human health and well-being, highlighting recent evidence of their antioxidant, anti-inflammatory, photoprotective, and preventive effects against cardiovascular diseases and cancers. In an integrated manner, this research reinforces the importance of tomato as a functional food and demonstrates that the appropriate choice of variety and processing method is crucial to maintaining its nutritional quality and ensuring sustainable technological utilization of the fruit.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L.; processing and preservation; bioactive compounds; health and well-being.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo da bioacessibilidade e biodisponibilidade do licopeno em tomates submetidos ao processamento térmico	26
Figura 2 – Variedades de tomate utilizadas no estudo	47
Figura 3 – Variedades de tomate utilizadas no estudo.....	48
Figura 4- Comparação da Concentração de Compostos Fenólicos da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate.....	57
Figura 5 – Comparação da Concentração de Clorofila A da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate	58
Figura 6 – Comparação da Concentração de Clorofila B da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate	59
Figura 7– Comparação da Concentração de Licopeno da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate	60
Figura 8– Comparação da Concentração de β -caroteno da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate	61
Figura 9 – Variedades de tomates utilizadas no estudo	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gradiente da fase móvel utilizado no ensaio cromatográfico para flavonoides	51
Tabela 2 – Média dos teores de minerais em tomates submetidos a diferentes Processamentos	55
Tabela 3 – Média dos teores de flavonoides em tomates submetidos a diferentes processamentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	63
Tabela 4 – Média dos teores de flavonoides e ácidos fenólicos em tomates submetidos a diferentes processamentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	64
Tabela 5 – Gradiente da fase móvel utilizado no ensaio cromatográfico para flavonoides	80
Tabela 6 – Média estimada dos teores de licopeno em tomates submetidos a diferentes processamentos ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	83
Tabela 7 – Concentração média de β -caroteno em diferentes variedades e tratamentos de tomate ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	85
Tabela 8 – Média dos teores de flavonoides em tomates submetidos a diferentes processamentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	87
Tabela 9 – Média dos teores de flavonoides em tomates submetidos a diferentes processamentos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. DESENVOLVIMENTO	14
2.1 Organização da Dissertação	14
3. Capítulo 1 - Efeitos do Processamento sobre Compostos Bioativos em Tomates: Uma Abordagem Integrada das Alterações Nutricionais	15
3.1 Introdução	16
3.2 Metodologia	17
3.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
Tomate como Alimento Estratégico: Diversidade, Compostos Bioativos e Aplicações Tecnológicas	19
Tomate Processado: Desafios e Oportunidades para a Preservação de Compostos Bioativos	21
Compostos fenólicos no tomate e seus potenciais efeitos à saúde	26
Minerais no tomate e o impacto do processamento	27
Vitamina C no tomate e o impacto do processamento	29
Licopeno e β -caroteno: carotenoides bioativos no tomate	30
Flavonoides: funções nutricionais e estratégia de conservação durante o processamento	32
processamento	32
3.4 Conclusão	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
4. Capítulo 2 - Avaliação quantitativa de compostos bioativos e minerais em tomates processados	40
4.1 Introdução.....	41
4.2 Referencial Teórico.....	42
4.3 Procedimentos Metodológicos.....	46
4.5 Resultados e Discussão	52

4.6 Conclusão	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
5. Capítulo 3 : O tomate como aliado à saúde e bem-estar.....	71
5.1 Introdução	72
5.2 Fundamentação Teórica	74
O tomate como alimento funcional e seus impactos na saúde.....	74
5.3 Procedimentos Metodológicos	76
5.4 Resultados e Discussão	81
5.5 Conclusão	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO.....	95

1. INTRODUÇÃO GERAL

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma hortaliça amplamente cultivada em diversas regiões do mundo. Pertencente à família *Solanaceae* e originária da América Central e do Sul e domesticado por povos indígenas há milhares de anos, foi introduzido na Europa no século XVI pelos espanhóis, disseminando-se globalmente em virtude de sua versatilidade culinária e elevado valor nutricional. Atualmente, existem milhares de cultivares de tomate que variam em coloração, formato, sabor e composição química, características que influenciam diretamente sua aplicabilidade industrial e aceitação pelo consumidor. (Silva, 2022)

No Brasil, o tomate ocupa posição de destaque entre as hortaliças mais consumidas e é a segunda mais produzida, com aproximadamente 3,7 milhões de toneladas registradas em 2020 (Silva, 2022). O país também se sobressai na produção de tomates para processamento industrial, sendo o quinto maior produtor mundial neste segmento (Embrapa, 2022).

Os tomates se destacam como importantes fontes de compostos bioativos e nutrientes, entre eles o licopeno, os carotenoides, os polifenóis e a vitamina C (Copanoglu *et al.* 2010; Raiola *et al.* 2015). Esses compostos apresentam reconhecida ação antioxidante, associada à redução do risco de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, como cânceres e enfermidades cardiovasculares (Bhowmik *et al.* 2012; Perkins-Veazie *et al.* 2019). Adicionalmente, evidências científicas apontam que o consumo regular de tomate e seus derivados está relacionado à prevenção de processos inflamatórios e à melhoria da saúde celular (Borguini; Ferraz, 2009).

A composição fitoquímica do tomate pode ser influenciada por uma série de fatores, tais como a variedade genética, as condições edafoclimáticas, o estágio de maturação e as práticas agrícolas. Entre os compostos bioativos, o licopeno é um carotenoide de grande interesse por sua intensa coloração vermelha e potente capacidade antioxidante. Nos frutos frescos, esse composto é predominante na forma *all-trans*, que, sob ação térmica durante o processamento, sofre isomerização para a forma *cis*, aumentando sua biodisponibilidade (Rao *et al.* 1998; Costa *et al.* 2021).

Embora o processamento térmico possa intensificar a liberação de licopeno da matriz vegetal e sua absorção intestinal, há perdas significativas de outros nutrientes sensíveis ao calor, como a vitamina C. A magnitude dessas alterações depende do método de processamento adotado, temperatura e tempo de exposição (Martins; Ferreira, 2018; Gomes *et al.* 2020).

Nesse contexto, torna-se essencial compreender como diferentes tecnologias de conservação influenciam a qualidade nutricional dos tomates. A liofilização, por exemplo, tem sido apontada como uma técnica promissora por preservar estruturas sensíveis e compostos voláteis, o que pode contribuir para maior retenção de compostos bioativos e minerais nos alimentos processados (Bortolatto; Lora, 2009).

A pesquisa visou subsidiar a escolha adequada de cultivares para fins específicos de processamento, além de promover o desenvolvimento de estratégias tecnológicas mais eficientes e sustentáveis para a conservação dos atributos nutricionais do tomate, com benefícios à saúde pública e à segurança alimentar.

Complementarmente, foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de identificar o estado da arte acerca do objeto de estudo, abrangendo os diferentes métodos de processamento de alimentos e seus efeitos sobre os aspectos nutricionais, de modo a embasar teoricamente a investigação experimental proposta, com isso, o presente estudo está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, especialmente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ao buscar formas de manter a qualidade nutricional do alimento; o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao contribuir com evidências para práticas alimentares mais saudáveis; e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar métodos de processamento que reduzam desperdícios nutricionais e promovam eficiência tecnológica e ambiental.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Organização da Dissertação

A presente dissertação foi estruturada em três capítulos, de forma a refletir a progressão lógica entre os fundamentos teóricos e a aplicação prática da pesquisa. O **Capítulo 1** tem por finalidade contextualizar o objeto de estudo, abordando aspectos gerais do tomate, sua relevância nutricional, os principais compostos bioativos presentes

e os efeitos de diferentes métodos de processamento, como cocção, desidratação e liofilização, sobre esses nutrientes. Já o **Capítulo 2** refere-se a uma pesquisa de natureza quantitativa e analítica, voltada à aplicação prática dos conhecimentos apresentados anteriormente. Diante da diversidade varietal do tomate e da necessidade de otimizar sua utilização em produtos industrializados, este segundo capítulo tem como objetivo avaliar o impacto de distintos métodos de processamento térmico sobre a estabilidade de compostos bioativos e minerais em sete variedades de tomate ('Grape 1', 'Grape 2', 'Mesa', 'Pizzadoro', 'Longa Vida', 'Coquetel' e 'Amarelo') quando comparados com os frutos *in natura*.

Por fim, o **Capítulo 3** expande a discussão para a interface entre nutrição e saúde, destacando o papel do tomate como aliado ao bem-estar humano. São explorados os efeitos benéficos do consumo de tomates e derivados na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, na promoção da saúde cardiovascular, ocular e imunológica, bem como suas aplicações em cosméticos e produtos funcionais. Este capítulo reforça a relevância do tomate como alimento funcional, situando seus constituintes bioativos no contexto da saúde pública e da sustentabilidade, com isso, busca-se subsidiar a escolha adequada de cultivares para fins específicos de processamento, além de fomentar o desenvolvimento de estratégias tecnológicas mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para a conservação dos atributos nutricionais do tomate, a promoção da saúde pública e o fortalecimento da segurança alimentar.

3. Capítulo 1 - Efeitos do Processamento sobre Compostos Bioativos em Tomates: Uma Abordagem Integrada das Alterações Nutricionais

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais consumidas no mundo e representa uma importante fonte de compostos bioativos, como licopeno, β -caroteno, flavonoides, compostos fenólicos e vitamina C, reconhecidos por seus efeitos benéficos à saúde humana. O objetivo deste capítulo foi realizar uma revisão sistematizada da literatura científica sobre os efeitos dos diferentes métodos de processamento, cocção, desidratação e liofilização na estabilidade, retenção e biodisponibilidade dos compostos bioativos e minerais presentes no tomate. O processamento térmico exerce papel ambivalente, uma vez

que, embora possa ocasionar perdas de nutrientes termossensíveis, também favorece a liberação e a absorção de carotenoides, como o licopeno, por meio da isomerização da forma *trans* para *cis*. Observa-se que a magnitude dessas alterações depende de fatores como variedade do tomate, tempo e temperatura de processamento, bem como das características da matriz alimentar. Técnicas emergentes, como a homogeneização de alta pressão e o uso de nanoemulsões, têm demonstrado potencial para aumentar a bioacessibilidade de antioxidantes e reduzir perdas nutricionais. A literatura evidencia que a liofilização se destaca como um dos métodos mais eficientes para a retenção de minerais e compostos bioativos, enquanto a desidratação pode promover a concentração de compostos fenólicos. Além dos efeitos nutricionais, o aproveitamento de subprodutos do tomate, como cascas e sementes, destaca-se como alternativa sustentável para o desenvolvimento de alimentos funcionais e formulações com maior valor agregado. Dessa forma, o capítulo contribui para o entendimento integrado dos impactos do processamento sobre os constituintes nutricionais e funcionais do tomate, oferecendo subsídios científicos para a adoção de tecnologias mais eficientes e sustentáveis na cadeia agroindustrial.

Palavras-chave: tomate. compostos bioativos. processamento térmico. licopeno. liofilização.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most widely consumed vegetables worldwide and represents an important source of bioactive compounds, such as lycopene, β -carotene, flavonoids, phenolic compounds, and vitamin C, which are recognized for their beneficial effects on human health. The objective of this chapter was to conduct a systematic review of the scientific literature on the effects of different processing methods cooking, dehydration, and freeze-drying, on the stability, retention, and bioavailability of bioactive compounds and minerals in tomatoes. Thermal processing plays an ambivalent role, as although it may cause losses of thermosensitive nutrients, it can also enhance the release and absorption of carotenoids, such as lycopene, through the isomerization from the *trans* to the *cis* form. The magnitude of these changes depends on factors such as tomato variety, processing time and temperature, as well as the characteristics of the food matrix. Emerging techniques, such as high-pressure homogenization and the use of nanoemulsions, have shown potential to increase the bioaccessibility of antioxidants and reduce nutritional losses. The literature indicates that freeze-drying stands out as one of the most efficient methods for retaining minerals and bioactive compounds, whereas dehydration may promote the concentration of phenolic compounds. In addition to nutritional effects, the utilization of tomato by-products, such as peels and seeds, has emerged as a sustainable alternative for the development of functional foods and formulations with higher added value. Thus, this chapter contributes to an integrated understanding of the impacts of processing on the nutritional and functional constituents of tomatoes, providing scientific support for the adoption of more efficient and sustainable technologies in the agro-industrial chain.

Keywords: tomato. bioactive compounds. thermal processing. lycopene. freeze-drying.

3.1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por alimentos com propriedades funcionais tem impulsionado pesquisas voltadas à compreensão dos efeitos do processamento sobre os compostos bioativos naturalmente presentes nas frutas e hortaliças. Nesse contexto, o tomate amplamente consumido em todo o mundo, destaca-se como uma das principais fontes de carotenoides, especialmente o licopeno, além de compostos fenólicos, flavonoides, vitaminas e minerais (Sallehi *et al.* 2019; Park *et al.* 2020).

Embora o consumo do tomate *in natura* seja expressivo, grande parte da produção mundial é destinada ao processamento industrial na forma de molhos, extratos, sucos e polpas. Esses produtos processados representam alternativas práticas e economicamente viáveis, além de possuírem maior vida útil, no entanto, o impacto dos tratamentos térmicos sobre os nutrientes e compostos bioativos ainda é objeto de investigação, considerando-se que o processamento pode tanto promover perdas nutricionais quanto melhorar a biodisponibilidade de certos compostos, por meio da modificação da matriz alimentar e de reações físico-químicas induzidas pelo calor (Capanoglu *et al.* 2008; Costa *et al.* 2024).

Estudos recentes demonstraram que a biodisponibilidade de compostos como o licopeno pode ser favorecida por processos térmicos que induzem a isomerização da forma *trans* para *cis*, facilitando sua absorção intestinal (Zhao *et al.* 2022; Ciatti *et al.*, 2022). Além disso, abordagens tecnológicas inovadoras, como a homogeneização de alta pressão e a utilização de nanoemulsões, têm se mostrado promissoras para a preservação e aumento da bioacessibilidade desses compostos em produtos derivados do tomate (Fernandes *et al.* 2023; Gomes *et al.* 2023; Lee *et al.* 2024).

Diante da diversidade dos métodos de processamento e da variabilidade entre cultivares, há uma lacuna no entendimento integrado dos efeitos dessas técnicas sobre os perfis nutricionais e funcionais do tomate, sendo assim, o presente capítulo tem como objetivo reunir e analisar as evidências científicas sobre as alterações em compostos bioativos de tomates submetidos a diferentes formas de processamento, verificando os efeitos sobre sua estabilidade, concentração e disponibilidade biológica.

3.2 METODOLOGIA

Este capítulo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem teórica, fundamentada em revisão bibliográfica sistematizada. O objetivo foi contextualizar o objeto de estudo, abordando aspectos gerais do tomate, sua importância nutricional, os principais compostos bioativos presentes e os efeitos de diferentes métodos de processamento como cocção, desidratação e liofilização sobre esses nutrientes. Para isso, foi realizada uma busca criteriosa de publicações científicas nas principais bases de dados acadêmicas, tais como Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect, SciELO e Google Scholar, selecionadas por sua abrangência, relevância e qualidade dos periódicos indexados.

A estratégia de busca foi conduzida utilizando descritores controlados e palavras-chave em português e inglês, incluindo combinações como *“tomate”*, *“compostos bioativos”*, *“licopeno”*, *“processamento térmico”*, *“liofilização”*, *“desidratação”*, *“nutritional quality of tomato”*, sendo que estas expressões foram utilizadas em língua portuguesa e inglesa. Os operadores booleanos “AND” e “OR” foram empregados para refinar as pesquisas. Foram priorizados artigos publicados nos últimos dez anos (2015–2025), com ênfase em revisões sistemáticas, estudos experimentais e publicações em periódicos de alto fator de impacto.

Os critérios de inclusão dos trabalhos consideram: (i) pertinência temática com o escopo da pesquisa; (ii) dados experimentais ou revisões com rigor metodológico; (iii) publicação em periódicos científicos revisados por pares; e (iv) textos disponíveis em português, inglês ou espanhol. Os critérios de exclusão envolvem: trabalhos com dados inconclusivos, publicações duplicadas, comunicações de congresso sem acesso ao texto completo e artigos que não tratem diretamente do tomate ou de seus compostos bioativos em relação aos métodos de processamento estudados.

A análise e síntese do material coletado foram realizadas de modo crítico, buscando identificar consensos, lacunas e avanços no conhecimento científico sobre o tema, de forma a embasar a discussão proposta ao longo do capítulo e oferecer uma visão atualizada e fundamentada da literatura.

3.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tomate como Alimento Estratégico: Diversidade, Compostos Bioativos e Aplicações Tecnológicas.

O tomate é uma fruta de ampla diversidade genética, com cerca de 10.000 variedades conhecidas. Algumas dessas variedades apresentam tolerância a elevadas temperaturas, característica que as torna estratégicas para a segurança alimentar global, especialmente em contextos de mudanças climáticas e escassez de recursos. Nessas condições, os tomates contribuem significativamente para a subsistência de agricultores familiares, oferecendo alimento e renda quando outras culturas não se desenvolvem adequadamente.

Relatórios atualizados da FAO (2023) indicam que tomates adaptados a estresse abiótico constituem alternativa relevante para sustento de agricultores familiares, ampliando a oferta de alimentos, a geração de renda e a resiliência dos sistemas produtivos. Além disso, o tomate apresenta ciclo curto, ampla aceitação de mercado e elevado valor nutricional, reforçando seu papel socioeconômico em cenários de crise climática.

No setor agrícola e industrial, o tomate se destaca tanto pela importância nutricional quanto pelo volume de produção, que alcançou 189 milhões de toneladas métricas em 2021. Esse crescimento, entretanto, traz consigo desafios relacionados à gestão de resíduos. Nesse sentido, os subprodutos do processamento têm sido reposicionados como matérias-primas de valor agregado, aplicáveis em produtos funcionais e nutricionais (Szabo *et al.* 2025; López- Yerena *et al.* 2023).

Classificado como uma cultura cosmopolita, o tomate pode ser cultivado em diferentes zonas agroecológicas. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), ocupa a quinta posição entre as hortaliças mais cultivadas no mundo, sendo o primeiro em volume de processamento industrial. Botanicamente, o tomate é definido como uma baga carnosa e succulenta, cuja morfologia incluindo peso, formato e coloração varia conforme a cultivar. Em geral, os frutos maduros apresentam coloração vermelha intensa, indicativa de sua maturidade fisiológica (Filgueira, 2018).

Do ponto de vista nutricional, o tomate destaca-se por sua rica composição em

compostos bioativos, como fenólicos, flavonoides, carotenoides, vitaminas (C e K), minerais, glicoalcaloides e fibras alimentares. Esses componentes têm despertado crescente interesse da comunidade científica devido ao seu potencial benefício à saúde humana, incluindo ações antioxidantes, anti- inflamatórias e protetoras contra diversas doenças crônicas (Wang *et al.* 2022; Lu *et al.* 2019; Cheng *et al.* 2019; Li *et al.* 2020; Park *et al.* 2020).

Além disso, a ingestão regular de tomate tem sido associada à prevenção de enfermidades como doenças cardiovasculares, câncer, diabetes tipo 2, catarata, estresse oxidativo, acidose metabólica e outras doenças neurodegenerativas, bem como à melhora da resposta imunológica. (Bhowmik *et al.* 2012; Salehi *et al.* 2019; Argarwal, 2000).

Esses efeitos benéficos estão relacionados à elevada concentração de antioxidantes naturais, como carotenoides (β -caroteno e licopeno), ácido ascórbico (vitamina C), tocoferol (vitamina E), além de compostos fenólicos bioativos como quercetina, kaempferol, naringenina, luteína e os ácidos cafeico, ferúlico e clorogênico (Argarwal, 2000).

O tomate é ainda uma boa fonte de macronutrientes e micronutrientes, contendo em média 3% de carboidratos, 1% de lipídeos e 1,2% de proteínas. Também é rico em minerais como cálcio, magnésio, fósforo, potássio, sódio e zinco, além de vitaminas A C e do complexo B. Dentre os compostos bioativos, destacam-se os fenólicos especialmente ácidos fenólicos e flavonoides e os carotenoides, sendo o licopeno o principal responsável pela coloração vermelha do fruto maduro (Salehi *et al.* 2019).

Interessantemente, estudos demonstram que as cascas do fruto concentram níveis significativamente mais altos de carotenoides especialmente licopeno , podendo conter até três vezes mais do que a polpa, o que reforça o valor das cascas como subprodutos promissores na indústria de alimentos funcionais (Teterycz & Sobota, 2023).

Com o avanço da consciência sobre os efeitos benéficos dos compostos naturais à saúde, cresce a demanda por produtos ricos em licopeno, sendo este amplamente explorado na formulação de alimentos funcionais, suplementos nutricionais e cosméticos (Górecka *et al.* 2020).

Com o intuito de atender às exigências do mercado e superar limitações agrônômicas, diversas cultivares de tomate vêm sendo geneticamente melhoradas, com

foco em maior produtividade, resistência a estresses bióticos e abióticos, e adequação tanto para o consumo *in natura* quanto para o processamento industrial (Asensio *et al.* 2019).

Nesse contexto, o processamento tecnológico do tomate, por meio de técnicas como secagem, pasteurização e cocção, é amplamente empregado para inativar enzimas, eliminar microrganismos e prolongar a vida útil dos produtos. Entretanto, esses tratamentos térmicos podem promover alterações sensoriais e nutricionais, induzindo tanto a degradação quanto o aumento da concentração de compostos bioativos, a depender das condições aplicadas (Capanoglu *et al.* 2008).

Ademais, os tomates são frequentemente incluídos na dieta mediterrânea, sendo amplamente consumidos e reconhecidos como importantes aliados da nutrição e saúde humanas (Salehi *et al.* 2019). Seus nutrientes exercem funções essenciais no organismo, como a prevenção da obstipação, controle da pressão arterial, estímulo à circulação sanguínea, manutenção do perfil lipídico e do equilíbrio hidroeletrolítico, desintoxicação do organismo, além de contribuir para a saúde óssea e muscular (Campestri *et al.* 2019).

Tomate Processado: Desafios e Oportunidades para a Preservação de Compostos Bioativos.

Além de ser apreciado na forma fresca, o tomate, sendo altamente perecível e pela demanda por praticidade, é amplamente consumido em produtos processados, como molhos, sucos e purês. O comércio global de molhos e ketchup 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).

Os principais constituintes bioativos dos subprodutos do processamento do tomate são os carotenoides, predominantemente o licopeno, seguido pelo β -caroteno e a luteína. O organismo humano não consegue produzir esses compostos bioativos, portanto, sua absorção pelo corpo humano depende de fontes dietéticas (Szabo, 2022).

Além da quantificação laboratorial dos nutrientes (minerais, bioativos, entre

outros) presentes nos alimentos, o entendimento dos conceitos de bioacessibilidade e biodisponibilidade é fundamental para a avaliação de seu potencial nutricional e funcional.

A bioacessibilidade refere-se à fração de um nutriente ou composto bioativo que é liberada da matriz alimentar durante o processo de digestão gastrointestinal e torna-se disponível para absorção no trato intestinal. Já a biodisponibilidade corresponde à proporção desse nutriente que, após ser efetivamente absorvida, atinge a circulação sistêmica e encontra-se apta a desempenhar suas funções biológicas no organismo.

A biodisponibilidade do licopeno parece estar relacionada às formas isoméricas apresentadas e o calor é responsável pela modificação desta forma. A absorção de licopeno parece ser maior em produtos que utilizam tomates processados e/ou cozidos, e influenciada pela quantidade de gordura da refeição (Bramley, 2000).

De acordo com os mesmos autores, 85% do licopeno consumido vêm do tomate ou de seus derivados. As concentrações de licopeno nos tomates também apresentam grande variação, principalmente no que diz respeito à coloração, maturação, local de plantio e clima. Estudos recentes têm demonstrado diferentes resultados para a análise de uma mesma variedade de tomates, sendo alguns deles citados neste trabalho.

Em produtos de tomate processado (molhos, purês e conservas), a biodisponibilidade de compostos bioativos, especialmente licopeno e fenólicos, é significativamente influenciada pelo tipo de processamento. Estudos recentes indicam que apenas 9–20 % do licopeno total permanece bioacessível após digestão *in vitro*, enquanto outros polifenóis como rutina, naringenina e ácido clorogênico apresentam recuperações entre 25 e 31 % após a digestão simulada (Ciatti *et al.* 2022; Cruz *et al.*, 2023).

Ainda assim, o processamento térmico incluindo aquecimento e homogeneização pode aumentar a biodisponibilidade de licopeno por promover a isomerização da forma *trans* para *cis* e romper a matriz celular facilitando sua incorporação em micelas intestinais (Zhao *et al.* 2022; Costa *et al.* 2024). Estudos complementares como estes apresentados são interessantes para compreender os efeitos do tratamento térmico em nível molecular e suas modificações.

Alternativas tecnológicas emergentes mostram resultados promissores: o uso de

nanoemulsões com extrato de tomate elevou a bioacessibilidade do licopeno de cerca de 29 % para mais de 80 % (Lee *et al.* 2024). De forma semelhante, nanoemulsões óleo-água com diferentes óleos vegetais resultaram em bioacessibilidade de licopeno entre ~40–54 %, dependendo do tipo lipídico (Gomes *et al.* 2023).

Outra abordagem eficaz é a homogeneização de alta pressão (HPH) aplicada a resíduos de tomate (polpa, cascas e sementes). Sob condições otimizadas (~80 MPa, 10 passagens), observou-se uma redução no tamanho das partículas (~8×), incremento de ~31 % no teor de fenólicos, ~30 % na atividade antioxidante e um aumento de 40–45 % na bioacessibilidade do licopeno (Fernandes *et al.* 2023).

De acordo com Wu *et al.* (2022), os dados atualmente disponíveis sobre os efeitos do processamento industrial nos carotenoides são incipientes, inconsistentes e, muitas vezes, conflitantes. Os autores relatam que, após o processamento térmico para a fabricação de pasta de tomate, o teor de licopeno apresentou comportamentos divergentes: redução em dois estudos, aumento em outros dois e nenhuma alteração em quatro, conforme também apontado por Capanoglu (2008).

Esses resultados contraditórios indicam que múltiplos fatores, como a variedade do tomate, o grau de maturação, as condições específicas de temperatura e tempo de processamento, bem como a interação com outros componentes da matriz alimentar podem influenciar de forma interdependente a estabilidade dos carotenoides, tal complexidade gera um efeito em cascata, no qual alterações iniciais em um parâmetro tecnológico ou composicional podem desencadear modificações sucessivas e cumulativas na estrutura química e na biodisponibilidade desses compostos bioativos.

A discrepância nos dados pode estar relacionada aos tipos de carotenoides quantificados tomates crus, a forma linear *trans* do licopeno se agrega em estruturas cristalinas localizadas dentro dos cromoplastos, o que confere ao licopeno maior estabilidade térmica (Cole *et al.* 2010), enquanto o β -caroteno parece ser menos estável ao tratamento térmico (Arbalo *et al.* 2021; ao método e condição de processamento - temperaturas de processamento mais altas e tempos de processamento mais longos geralmente estão associados a maiores perdas (Jacob *et al.* 2010).

Tomates processados a 88°C por 15 minutos apresentaram aumento significativo do teor de licopeno e da capacidade antioxidante (Dewanto *et al.* 2000).

Em outro estudo, a pasta de tomate submetida ao aquecimento em forno a 177°C e 218°C por 45 minutos apresentou retenção de licopeno de apenas 37,3% e 25,1% (Mayeux *et al.* 2001), respectivamente, o aumento do teor de licopeno observado em produtos derivados do tomate, como extratos e molhos, deve-se 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, o que aumenta a concentração do licopeno (Periago *et al.* 2005);

Georgé *et al.* 2011 em seus estudos com diferentes variedades de tomate encontraram como resultados que o processamento industrial não afetou o teor de β -caroteno em tomates vermelhos, mas reduziu significativamente em tomates amarelos e ao tecido avaliado. De acordo com Richelle *et al.* 2002, o licopeno está presente principalmente no tecido do pericarpo de tomates, localizado no compartimento celular dos cloroplastos, nos quais cristais são associados à sua estrutura da membrana.

Conforme citado, a literatura não apresenta consenso acerca dos tratamentos ou variedades de tomate mais adequadas para cada destinação.

O processo de cozimento está relacionado à extração de compostos da matriz (Palermo *et al.* 2014). No entanto, o processamento térmico pode induzir perdas de nutrientes devido a lixiviação da matriz alimentar após o aquecimento, que também pode induzir a ruptura celular. Diferentes trabalhos indicam que o uso de condições de secagem apropriadas resulta na preservação do conteúdo de compostos nutracêuticos significativamente (Kong *et al.*, 2010; M'Hiri *et al.* 2018).

Os açúcares, fenóis, minerais são alguns dos responsáveis pelo sabor e aroma do fruto (Kader, 2008). Um dos principais determinantes da qualidade e do teor de sólidos solúveis dos frutos é a maturidade fisiológica no momento da colheita. Ao escolher o fruto em um estágio mais avançado seria permitir uma maior acumulação de açúcar, quanto mais maduro o fruto, mais facilmente é danificado e também apresentará vida curta de prateleira (Watkins, 2006).

Após o cozimento, o teor de sólidos solúveis tende a aumentar devido à evaporação da água, sendo este parâmetro importante para a indústria processadora para além da determinação da qualidade do vegetal e seus produtos processados, a

determinação do rendimento obtido devido ao processamento.

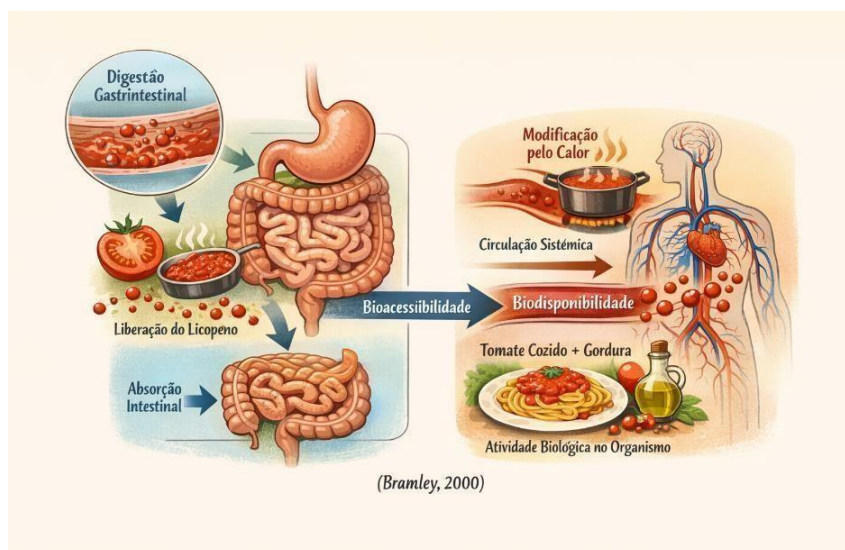
O molho de tomate é um produto derivado dos frutos *in natura* composto basicamente pela polpa do fruto triturada e submetida à cocção com ou sem a adição de sais e especiarias. Os nutrientes minerais, proteínas, lipídios, carboidratos solúveis e constituintes da fibra alimentar, que no tomate fresco representam no máximo de 5 a 7% de seu peso (Silva & Giordano, 2000), no produto desidratado, as concentrações desses nutrientes são aumentadas em função do abaixamento da umidade residual do tomate seco. O licopeno e a vitamina C, a despeito de possíveis perdas que podem ocorrer durante a secagem, aparentemente também são concentrados no produto tomate seco.

A operação unitária de desidratação é definida, geralmente, como a remoção de líquido de um sólido por evaporação. Nas operações de secagem, o material está em contato com o ar insaturado resultando na redução do conteúdo de umidade do material e a umidificação do ar. Durante a operação de secagem, ocorrem dois processos simultâneos do material, a transferência de calor do meio circundante, resultando na evaporação do líquido contido no material e ainda a transferência de massa na forma de líquido ou vapor do interior do material para a superfície, e desta para a corrente do fluido de secagem. O conhecimento dos mecanismos e da cinética de transferência de água, do interior do material para a sua superfície é de fundamental importância para a descrição do fenômeno da secagem (Bruin & Luyben, 1980). Mesmo com diversas vantagens, a maior desvantagem concernente à secagem convencional é a degradação de importantes substâncias nutricionais e alterações organolépticas dos alimentos.

A liofilização consiste em um processo de separação por sublimação, onde a água ou a substância aquosa é retirada como vapor do produto congelado passando da fase sólida para a fase gasosa. O processo de liofilização possui várias vantagens ligadas à estrutura do produto, como a característica esponjosa que permite a reconstituição rápida, realce do sabor e aparência fiel ao produto original, outras vantagens ligadas às baixas temperaturas de operação são a redução de perdas vitamínicas e de constituintes voláteis, diminuição de desnaturação proteica e capacidade digestiva que se torna mais elevada (Bortolatto; Lora, 2009).

Figura 1 - Esquema ilustrativo da bioacessibilidade e biodisponibilidade do licopeno

em tomates submetidos ao processamento térmico.



Compostos fenólicos no tomate e seus potenciais efeitos à saúde

O tomate é amplamente reconhecido como uma fonte relevante de compostos fenólicos, os quais estão intimamente associados às suas propriedades antioxidantes e aos potenciais benefícios à saúde humana. Os compostos fenólicos consistem em metabólitos secundários presentes em pequenas concentrações em alimentos de origem vegetal, sendo considerados essenciais na prevenção de diversas enfermidades crônicas.

De acordo com Freire *et al.* (2013), mais de 21 classes distintas de compostos fenólicos já foram identificadas, muitas das quais apresentam atividades biológicas promissoras, incluindo ação antioxidante e anti-inflamatória.

O elevado teor de compostos fenólicos presente no tomate o caracteriza como um alimento funcional, contribuindo significativamente para a ingestão diária de antioxidantes na dieta humana. A atividade antioxidante desses compostos está relacionada à sua capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio (EROs), formadas como subprodutos do metabolismo celular ou induzidas por estresse oxidativo. Os grupos hidroxila presentes na estrutura fenólica permitem a doação de elétrons, estabilizando os radicais livres e inibindo reações em cadeia que podem comprometer a integridade de componentes celulares.

Além da ação antioxidante, os compostos fenólicos também desempenham um

papel relevante na modulação de processos inflamatórios. Eles atuam na regulação da atividade de enzimas envolvidas na inflamação, bem como na inibição da produção de citocinas pró- inflamatórias contribuindo assim para a prevenção de doenças inflamatórias crônicas. Estudos têm demonstrado que o consumo regular de alimentos ricos em compostos fenólicos está associado à redução do risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, certos tipos de câncer e outras condições associadas ao estresse oxidativo (Tripoli *et al.* 2007; Barreca *et al.* 2017).

Tais propriedades conferem aos alimentos ricos em compostos bioativos o status de “alimentos funcionais”, termo utilizado para descrever produtos que, além de sua função nutricional básica, proporcionam efeitos benéficos à saúde e bem-estar (Pinto, 2008; Vizzotto, 2012).

Nesse contexto, o tomate destaca-se não apenas por seu valor nutricional, mas também pelo potencial terapêutico associado aos seus constituintes bioativos. Conforme destacado por Silva (2023), a presença de fenólicos e flavonoides no tomate contribui significativamente para a atividade antioxidante do fruto, reforçando seu papel na promoção da saúde humana.

Minerais no tomate e o impacto do processamento

O tomate é amplamente consumido na forma *in natura*; contudo, em diversas situações, o seu preparo térmico torna-se necessário ou desejável, especialmente devido ao aumento do aroma, da palatabilidade e da facilidade de mastigação proporcionados pela cocção. No entanto, esse processo pode ocasionar alterações na composição nutricional do fruto, afetando principalmente compostos bioativos e minerais (Fedato, 2023).

Dentre os nutrientes essenciais presentes nos tomates, destacam-se os minerais, os quais são classificados, conforme sua concentração e função no organismo humano, em três grupos: macro minerais (como cálcio, fósforo, magnésio, sódio e potássio), micro minerais (como ferro, zinco, cobre e selênio) e elementos ultra traço (como boro, silício e vanádio) (Nosratpour; Jafari, 2018).

O potássio é o mineral predominante no tomate, sendo fundamental para a

fisiologia do fruto, pois atua na síntese de carotenoides e na prevenção de cavidades internas (espaços ocos). Já o fósforo está relacionado ao aumento do peso dos frutos, sendo igualmente relevante para sua qualidade nutricional e tecnológica (Ferrari, 2008).

O processamento térmico, como a cocção ou tratamentos industriais mais intensivos, pode impactar significativamente o conteúdo mineral dos tomates. Essas alterações ocorrem em função de processos como lixiviação, oxidação ou transformações estruturais na matriz alimentar.

Segundo Capanoglu *et al.* (2010), os diversos tratamentos aplicados durante o processamento industrial de tomates não apenas alteram aspectos sensoriais como cor, textura e sabor, mas também influenciam diretamente a composição química e o valor nutricional do produto final, afetando inclusive a retenção de minerais essenciais.

De acordo com García- Herrera *et al.* (2022), as perdas mais expressivas ocorrem em potássio e magnésio, por serem elementos solúveis e com maior mobilidade na matriz alimentar. No caso da desidratação, o impacto depende da temperatura e da umidade residual final: processos a temperaturas moderadas (50–70 °C) tendem a preservar melhor o conteúdo mineral em comparação a tratamentos mais agressivos.

Em contrapartida, a liofilização tem se mostrado um dos métodos mais eficazes na retenção mineral, justamente por operar sob baixas temperaturas e ausência de água líquida, o que evita a lixiviação. Segundo Mahmoud *et al.* (2021), tomates liofilizados mantiveram mais de 90% do conteúdo original de cálcio, ferro e zinco, sendo indicados para formulações funcionais e alimentos com maior densidade nutricional, mostrando o potencial que este processamento pode possuir.

Outro fator relevante é o efeito do processamento na disponibilidade dos minerais. Processos térmicos podem inativar fatores antinutricionais (como fitatos e oxalatos), potencializando a biodisponibilidade de ferro e zinco. A pesquisa de Melo *et al.* (2023) destaca que a cocção em curtos períodos (até 15 minutos) promove uma ligeira melhora na disponibilidade de ferro, associada à quebra de complexos inorgânicos na matriz do fruto.

Além disso, o tipo de variedade do tomate influencia significativamente a estabilidade mineral durante o processamento. Variedades com maior espessura de pericarpo e menor conteúdo aquoso tendem a sofrer menores perdas por evaporação e

lixiviação, como demonstrado por Silva *et al.* (2024) ao comparar cultivares "Longa Vida", "Grape" e "Italiano", mostrando a importância no estudo de diferentes variedades.

Nesse contexto, a qualidade da matéria-prima é determinante para a obtenção de produtos processados com características superiores. Para as indústrias, atributos como viscosidade, sabor, acidez, teor de sólidos solúveis totais (°Brix), facilidade de extração da pele e espessura do pericarpo são aspectos críticos na escolha de cultivares para processamento (Melo; Vilela, 2005).

Já do ponto de vista do consumidor, principalmente no consumo *in natura*, a qualidade é avaliada com base em características visuais, táteis e gustativas percebidas consciente ou inconscientemente, além disso, estudos recentes têm demonstrado que os subprodutos gerados durante o processamento do tomate, como cascas e sementes, apresentam teores significativos de minerais, sendo considerados alternativas viáveis para o desenvolvimento de novos produtos alimentares com valor nutricional agregado.

A incorporação desses subprodutos em formulações alimentícias contribui para a redução de perdas e desperdícios, promovendo práticas sustentáveis na indústria alimentícia e minimizando impactos ambientais (Cardoso *et al.* 2020).

Vitamina C no tomate e o impacto do processamento

Quando consumido *in natura*, o fruto é reconhecido como uma excelente fonte de ácido ascórbico (vitamina C), um micronutriente essencial com potente ação antioxidante, responsável por neutralizar radicais livres e contribuir para a proteção contra o estresse oxidativo no organismo humano (Nascimento *et al.* 2013; Cavalari; Sanches, 2018). Em tomates frescos de cultivares convencionais, o teor médio de vitamina C é de aproximadamente 59,65 mg por 100 g de produto, o que representa uma contribuição significativa para as necessidades diárias dessa vitamina.

A estabilidade do ácido ascórbico, no entanto, pode ser comprometida por diversos fatores físicos e químicos durante o armazenamento e o processamento do alimento. De acordo com Cunha *et al.* (2014), perdas expressivas de vitamina C podem ocorrer devido a alterações no pH e à exposição a temperaturas elevadas, condições frequentemente encontradas durante o preparo culinário ou processamento industrial. A

degradação da vitamina C está diretamente associada à sua elevada sensibilidade ao calor, à luz, ao oxigênio, à umidade e à presença de íons metálicos catalíticos (Cozzolino, 2016).

Essas características explicam a redução significativa do teor de vitamina C em alimentos submetidos à cocção ou a processos térmicos prolongados. Como a vitamina é hidrossolúvel, tende a se perder por lixiviação na água de cozimento, agravando ainda mais sua instabilidade, assim, para minimizar essas perdas e preservar o valor nutricional do tomate, recomenda-se o consumo do fruto fresco ou com preparo térmico breve, além do armazenamento em condições que evitem exposição prolongada ao ar, umidade e calor excessivo.

A ingestão diária de referência para vitamina C adotada no Brasil é de 45 mg·dia⁻¹, conforme estabelecido pela ANVISA e reafirmado na Instrução Normativa nº 75/2020 (BRASIL, 2020).

Do ponto de vista nutricional, o consumo regular de vitamina C é seguro para a maioria da população. A ingestão diária habitual pode variar entre 1 a 5 g sem relatos consistentes de efeitos tóxicos. No entanto, doses superiores a 2.000 mg/dia podem provocar efeitos adversos, como diarreia osmótica e gastroenterite transitória em indivíduos sensíveis (Cozzolino, 2016).

Ainda segundo a autora, embora não existam evidências sólidas de que a vitamina C induz à formação de cálculos renais por oxalato ou cause hiperssaturação de ferro no organismo, sua ação como facilitadora da absorção de ferro não heme deve ser considerada em contextos clínicos específicos, além disso, altas doses de ácido ascórbico (acima de 500 mg/dia) podem interferir na biodisponibilidade da vitamina B12 dos alimentos, sendo necessária, nesses casos, a avaliação nutricional para possível suplementação.

Portanto, o conhecimento sobre a estabilidade da vitamina C e os efeitos do processamento sobre seu conteúdo nos alimentos é fundamental para orientar práticas alimentares mais saudáveis e estratégias tecnológicas que preservem seu valor nutricional ao longo da cadeia produtiva e de consumo.

Licopeno e β -caroteno: carotenoides bioativos no tomate

Os carotenoides constituem uma classe de compostos bioativos com funções nutricionais e fisiológicas relevantes, sendo alguns deles precursores da vitamina A e potentes agentes antioxidantes. Esses compostos atuam na neutralização de espécies reativas de oxigênio (EROs), contribuindo para a proteção celular contra o estresse oxidativo. A estrutura química dos carotenoides, especialmente o número de ligações duplas conjugadas e os grupos funcionais presentes, influencia diretamente suas propriedades antioxidantes e suas características cromáticas (Steckelberg; Conceição, 2025).

Dentre os carotenoides presentes no tomate, destacam-se o licopeno, o β -caroteno e a luteína, sendo o licopeno o principal responsável pela coloração vermelha característica do fruto maduro. Esses compostos estão concentrados principalmente nas cascas e polpa dos tomates, e representam os principais constituintes bioativos tanto do fruto *in natura* quanto dos subprodutos gerados durante o processamento industrial (Szabo, 2022).

O licopeno tem sido amplamente estudado devido à sua potente atividade antioxidante. Ele é considerado o carotenoide com maior capacidade de neutralizar radicais livres, atuando na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como diversos tipos de câncer (ovário, mama, próstata e colorretal), doenças cardiovasculares e condições inflamatórias (Caseiro *et al.* 2020; Coelho *et al.* 2023). Além disso, estudos apontam que o licopeno está presente em maior concentração do que o β -caroteno em tomates maduros, sendo o principal responsável pela coloração vermelha (Shami; Moreira; 2004).

A elevada atividade antioxidante do licopeno está diretamente relacionada à sua estrutura química, composta por um elevado número de insaturações, quando incorporado à dieta, contribui para a redução do risco de desenvolvimento de aterosclerose, câncer de mama e próstata, além de atuar na prevenção de doenças cardiovasculares (Marques, 2015).

Assim como o licopeno, o β -caroteno também apresenta propriedades antioxidantes e é um precursor direto da vitamina A. Ambos os compostos têm sua concentração influenciada por fatores agronômicos e tecnológicos, como a variedade do tomate, grau de maturação, cor do fruto, condições climáticas, local de cultivo e,

especialmente, pelos métodos de processamento utilizados (Wu *et al.* 2022).

Durante o processamento térmico, como cocção e secagem, ocorre a isomerização dos carotenoides da forma *trans* para a forma *cis*, sendo esta última mais biodisponível. Essa transformação aumenta a absorção intestinal dos carotenoides, favorecendo seus efeitos benéficos à saúde (Khoo *et al.* 2011).

Além disso, a presença de lipídios na refeição é um fator determinante para a absorção eficaz do licopeno e do β -caroteno, dada sua natureza lipossolúvel (Bramley, 2000).

A biodisponibilidade desses compostos depende, portanto, de uma complexa interação de fatores que envolvem desde o cultivo da planta até o consumo final, incluindo colheita, transporte, armazenamento e tipo de preparo culinário. Produtos processados e termicamente tratados tendem a apresentar maior biodisponibilidade de licopeno, evidenciando a importância do processamento não apenas como método de conservação, mas também como estratégia para potencializar a absorção de nutrientes bioativos.

Flavonoides: funções nutricionais e estratégia de conservação durante o processamento

Os flavonoides compõem uma das mais amplas e importantes classes de metabólitos secundários polifenólicos presentes nas plantas. Essas substâncias desempenham múltiplas funções fisiológicas, incluindo a pigmentação de flores, frutos e vegetais, a defesa contra patógenos, a promoção da fertilidade e a proteção contra radiações ultravioleta (Bovy; Schijlen; Hall, 2007). Em razão de sua presença natural em vegetais, os flavonoides são componentes regulares da dieta humana e têm sido amplamente estudados em virtude de seus potenciais efeitos benéficos à saúde.

Diversas evidências científicas apontam que os polifenóis dietéticos, incluindo os flavonoides, estão associados à redução do risco de desenvolvimento de DCNT, como doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, certos tipos de câncer e distúrbios neurodegenerativos, essa atividade protetora está relacionada, principalmente, às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e moduladoras de enzimas e vias de sinalização celular.

No tomate, a distribuição dos flavonoides não é uniforme. Esses compostos concentram-se predominantemente na casca do fruto, enquanto a polpa, que representa mais de 95% do peso total do tomate, contém apenas vestígios dessas substâncias (Bovy; Schijlen; Hall, 2007). Isso reforça a importância da preservação da casca no consumo e no processamento de tomates, especialmente quando se busca aproveitar ao máximo o conteúdo funcional do alimento.

Os frutos de tomate contêm diversos flavonoides, entre eles a chalconaringenina, a rutina, a naringenina e o kaempferol, que contribuem para os mecanismos de defesa da planta e possuem reconhecidas propriedades antioxidantes (Slimestad; Verheul, 2011).

Essas substâncias apresentam variações em sua concentração de acordo com a cultivar, o estágio de maturação, as condições de cultivo e os processos tecnológicos aos quais o fruto é submetido. Por exemplo, a naringenina é um flavanona comum nos tecidos epidérmicos, com potente ação antioxidante, enquanto a rutina é reconhecida por sua atividade vasoprotetora e anti-inflamatória.

O potencial dos flavonoides do tomate como compostos bioativos tem estimulado pesquisas voltadas ao seu aproveitamento em produtos funcionais e nutracêuticos, a compreensão da sua distribuição e estabilidade durante o processamento é fundamental para o desenvolvimento de estratégias que preservem ou até mesmo potencializem sua atividade biológica nos alimentos derivados do tomate.

3.4 CONCLUSÃO

Este capítulo permitiu contextualizar, por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada, a relevância do tomate como alimento estratégico, em função de sua diversidade genética, composição nutricional e elevado potencial funcional, com destaque para compostos bioativos como carotenoides, compostos fenólicos, flavonoides, vitamina C e minerais.

A literatura analisada evidenciou que o processamento térmico exerce efeito ambíguo sobre a qualidade nutricional do tomate, podendo ocasionar perdas de nutrientes termossensíveis, como a vitamina C, ao mesmo tempo em que favorece a biodisponibilidade de compostos lipossolúveis, especialmente o licopeno. Observou-se ainda que os impactos do processamento variam de acordo com o método aplicado, as

condições operacionais e a cultivar avaliada, além das características da matriz alimentar.

Adicionalmente, o aproveitamento de subprodutos do processamento, como cascas e sementes, destaca-se como alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos funcionais e estratégias mais sustentáveis na cadeia agroindustrial.

Dessa forma, este capítulo fornece o embasamento teórico necessário para a compreensão dos efeitos do processamento sobre os constituintes nutricionais do tomate, servindo de base para a investigação experimental apresentada no capítulo seguinte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, S.; RAO, A. V. Lycopene from tomatoes and its role in human health and chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, v. 163, p. 739–744, 2000.

ARAÚJO, L. M. **Polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) desidratada por liofilização e secagem em leito de jorro: caracterização físico-química e funcional e impacto da secagem**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ARBALLO, J.; AMENGUAL, J.; ERDMAN, J. W. Lycopene: a critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. **Antioxidants**, v. 10, n. 3, p. 342, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10030342>

ASENSIO, E. et al. Spanish traditional tomato: effects of genotype, location and agronomic conditions on nutritional quality and consumer preferences. **Food Chemistry**, v. 270, p. 452–458, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.131>

BARRECA, D. et al. Flavanones: citrus phytochemicals with health-promoting properties. **BioFactors**, v. 43, n. 4, p. 495–506, 2017.

BHOWMIK, D. et al. Tomato – a natural medicine and its health benefits. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 1, p. 33–43, 2012.

BORTOLATTO, A. P.; LORA, P. S. Liofilização de alimentos: fundamentos e aplicações. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 367, p. 26–32, 2009

BOVY, A.; SCHIJLEN, E.; HALL, R. D. Metabolic engineering of flavonoids in tomato (*Solanum lycopersicum*): the potential for metabolomics. **Metabolomics**, v. 3, p. 399–412, 2007.

BRAMLEY, P. M. Is lycopene beneficial to human health? **Phytochemistry**, v. 54, n. 3, p. 233–236, 2000.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 out. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa>. Acesso em: 22 nov. 2025.

BRUIN, S.; LUBYEN, K. C. A. M. Drying of food materials: a review of recent developments. In: MUJUMDAR, A. (ed.). **Advances in drying**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. v. 3.

CAMPESTRINI, L. H. et al. A novel purple tomato variety as a rich source of bioactive carotenoids and its potential health benefits. **Heliyon**, v. 5, e02831, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02831>

CAPANOGLU, E. et al. Processing tomatoes increases antioxidant activity and lycopene bioaccessibility. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 910–917, 2008.

CARDOSO, A. M. R. et al. Resíduos agroindustriais do tomateiro: caracterização nutricional e possibilidades de aproveitamento. **Brazilian Journal of Development**, 2020.

CASEIRO, M. et al. Lycopene in human health. **LWT**, v. 127, p. 109323, 2020.

CAVALARI, T. G. F.; SANCHES, R. A. Os efeitos da vitamina C. **Revista Saúde em Foco**, 2018.

CHENG HM, Koutsidis G., Lodge JK, Ashor AW, Siervo M., Lara J. **Licopeno e tomate e o risco de doenças cardiovasculares: uma revisão sistemática e meta-análise de evidências epidemiológicas**. 2019;59:141–158. doi: 10.1080/10408398.2017.1362630

CIATTI, M. et al. Influence of industrial processing on the bioaccessibility of phenolics and carotenoids in tomato products. **Journal of Functional Foods**, v. 92, 105053, 2022.

CIATTI, S. et al. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) processing and impact on the bioaccessibility of phenolics and carotenoids. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 849163, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.849163>.

COELHO, M.C. et al. Valorização integral de subprodutos do tomate para recuperação de compostos bioativos: benefícios para a saúde humana. **Food Chemistry**, v. 410, p. 135319, 2023.

COLLE, I.; LEMMENS, L.; VAN BUGGENHOUT, S.; VAN LOEY, A.; HENDRICKX, M. Effect of thermal processing on the degradation, isomerization, and bioaccessibility of lycopene in tomato pulp. **J Food Sci**; 75:C753–9, 2010.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Tomate: Análise dos Indicadores da Produção e Comercialização no Mercado Mundial, Brasileiro e Catarinense.** Compêndio de Estudos Conab, v. 21, 2024 – Brasília. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/182024-fao-mostra-curiosidades-e-benef%C3%ADcios-do-tomate>. Acesso em: 28 abr. 2025.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes.** 6. ed. São Paulo: Manole, 2016.

CRUZ, A. R. et al. Influence of food matrix and thermal treatment on carotenoid bioaccessibility in tomato-based products. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 44–52, 2023.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K. K.; LIU, R. H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **J Agric Food Chem**; 50:3010-14. 2000.

FAO. **The State of Food and Agriculture 2023: Climate change, agriculture and food security.** Roma: FAO, 2023.

FEDATO, Bárbara Nivea. **Qualidade nutricional e compostos bioativos de tomates submetidos a diferentes métodos de processamento.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2023.

FERNANDES, F. A. N. et al. Enhancement of bioactive compounds in tomato waste by high- pressure homogenization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 87, 103414, 2023.

FERNANDES, R. M. et al. Enhancing phenolic content and lycopene bioaccessibility from tomato pomace by high-pressure homogenization. **Antioxidants**, v. 12, n. 10, p. 1855, 2023.

FERRARI, A. A. **Caracterização química de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) empregando análise por ativação neutrônica instrumental.** 2008. 151f. Dissertação (Mestrado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura.** Viçosa: UFV, 2018.

FREIRE, J. M. *et al.* Phenolic compounds: classification, biological activities and applications. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 222–235, 2013. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.01.012.

GARCÍA-HERRERA, P. et al. Mineral content in tomato processed products. **Food Chemistry**, v. 350, 2022.

GEORGÉ, S.; TOURNIAIRE, F.; GAUTIER, H.; GOUPY, P.; ROCK, E.; CARIS-

- VEYRAT, C. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. **Food Chem.** 124:1603–11, 2011.
- GOMES, F. et al. Improving lycopene bioaccessibility from tomato extract using oil-in-water nanoemulsions with different vegetable oils. **Food Hydrocolloids**, v. 140, 108749, 2023.
- GOMES, F. S. et al. Bioaccessibility of lycopene in oil-in-water nanoemulsions with different vegetable oils. **Applied Sciences**, v. 14, n. 22, p. 10495, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142210495>.
- GÓRECKA, D., Wawrzyniak, A., Jędrusek-Golińska, A., Dziedzic, K., Hamułka, J., Kowalczewski, P., & Walkowiak, J. (2020). Lycopene in tomatoes and tomato products. **Open Chemistry**, 18(1), 752–756. Scopus.
- JAFARI, S. M.; GHALENOEI, M. G.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 436 *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 2* 311, p. 59–65, 2017
- KADER, A. A. Flavor quality of fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 88 (2008), pp. 1863-1868. 10.1016/j.foodcont.2021.108068
- KONG K. W.; ISMAIL, A.; TAN, C. P.; RAJAB, N. F. Optimization of oven drying conditions for lycopene content and lipophilic antioxidant capacity in a by-product of the pink guava puree industry using response surface methodology. **LWT Food Sci Technol** 43:729– 735. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.10.011>
- KHOO, H.-E. et al. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. **Molecules**, v. 16, n. 2, p. 1710–1738, 2011.
- LEE, M. H. et al. Increasing the bioaccessibility of antioxidants in tomato pomace using excipient emulsions. **Food Chemistry**, v. 430, p. 137229, 2024.
- LEE, S. H. et al. Effect of nanoemulsions on lycopene bioaccessibility from tomato extract. **Journal of Food Engineering**, v. 345, 111402, 2024.
- LI, Y. et al. Tomato bioactive compounds: a review of chemical composition and health effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, p. 1–20, 2020.
- LÓPEZ-YERENA, A.; DOMÍNGUEZ-LÓPEZ, I.; ABUHABIB, M. M.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M.; VALLVERDÚ-QUERALT, A.; PÉREZ, M. Resíduos e subprodutos do tomate: futuras fontes de polifenóis e carotenoides para aplicações alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2226211>.
- LU, Y. et al. A comparative analysis of tomato antioxidant content. **Food Chemistry**, v. 277,

p. 129–136, 2019.

MAHMOUD, B. et al. Preservation of minerals in tomatoes by freeze-drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2021.

MAHMOUD, Hadeel G.; AL-HAGLA, Khaled S.; SALEH, Abeer M.; ABD-ELAZIM, Ahmed M. Freeze-drying as a tool to preserve nutritional value in tomato powder. **LWT – Food Science and Technology**, v. 145, p. 111347, 2021.

MARQUES, C. S. S. **O licopeno como composto bioativo do tomate**. 2015. 66f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar) - Escola Superior Agrária de Viseu do Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2015.

MAYEAUX, M.; XU, Z.; KING, J. M.; C, W. Effects of cooking conditions on the lycopene content in tomatoes. **J. Food Sci.** n.71. p.461-4. 2001.

MELO, Tânia M.; OLIVEIRA, Bruna L.; NASCIMENTO, Cláudia S.; GUIMARÃES, Leandro M.; COSTA, Érika J. Thermal processing improves iron bioavailability in tomatoes by reducing phytate content. **Food Research International**, v. 161, p. 112104, 2023

M’HIRI, N.; GHALI, R.; BEN, NASR, I.; BOUDHRIOUA, N. Effect of different drying processes on functional properties of industrial lemon by product. **Process Saf Environ Prot** 116:450–460. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.004>

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

NOSRATPOUR, M.; JAFARI, S. M. Bioavailability of minerals (Ca, Mg, Zn, K, Mn, Se) in food products. [S.l.]: **Elsevier**, 2018. v. 1.

PALERMO M.; PELLEGRINI, N.; FOGLIANO, V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. **J Sci Food Agric.** 94:1057–1070. 2014.

PARK H.-A., Hayden MM, Bannerman S., Jansen J., Crowe-White KM Efeitos antiapoptóticos de carotenoides na neurodegeneração. **Molecules**. 2020;25:3453. doi: 10.3390/molecules25153453

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**; 55(22):8825-9. 2005

PINTO, A. M. Alimentos funcionais: conceitos, aplicações e legislação. In: SGARBIERI, V. C.; PACHECO, M. T. B. (org.). **Alimentos funcionais e nutracêuticos**. Campinas: ITAL, 2008. p. 1–24.

RICHELLE, M.; BORTLIK, K.; LIARDET, S.; HAGER, C.; LAMBELET, P.; BAUR, M. A food-based formulation provides lycopene with the same bioavailability to humans as that from tomato paste. **J Nutr.** 132(3): 404-8. 2002.

SALEHI, B. et al. Tomato (*Solanum lycopersicum*) consumption and health. **Food Research International**, v. 126, 108572, 2019.

SALEHI, B.; SHARIFI-RAD, R.; SHARPOV, F.; NAMIESNIK, J.; ROOINTAN, A.; KAMLE, M.; KUMAR, P.; MARTINS, N.; SHARIFI-RAD, J. Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. **Nutrition**, v. 62, p. 201–208, 2019.

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

SILVA, L. C. **Subprodutos industriais de tomate (*Solanum lycopersicum* L.): identificação de compostos bioativos, aplicação em alimentos e desenvolvimento de embalagens bioativas.** 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1378220>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SLIMESTAD, R.; VERHEUL, M. J. Properties of chalconaringenin and rutin isolated from cherry tomatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 7, p. 3180-3185, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf104045k>.

STECKELBERG, R. M. B.; CONCEIÇÃO, E. C. Da fazenda à indústria: uma visão geral do tomate, dos benefícios do licopeno para a saúde e da valorização sustentável de subprodutos. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 14, n. 2, p. e10214248276, 2025.

SZABO, K. et al. Carotenoid recovery from tomato processing by-products through green chemistry. **Molecules**, v. 27, p. 3771, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27123771>.

SZABO, Katalin; VARVARA, Rodica-Anita; CIONT, Călina; MACRI, Adrian Maximilian; VODNAR, Dan Cristian. Uma visão geral atualizada sobre a revalorização de compostos bioativos derivados de subprodutos da produção e processamento de tomate. **Revista de Produção Mais Limpa**, v. 497, p. 145151, 15 mar. 2025.

TETERYCZ, D.; SOBOTA, A. Value of tomato by-products in food production. **Foods**, v. 12, n. 5, p. 1192, 2023.

TRIPOLI, E. et al. Citrus flavonoids: molecular structure, biological activity and nutritional properties: a review. **Food Chemistry**, v. 104, p. 466-479, 2007.

VIZZOTTO, M. **Alimentos funcionais: conceitos e aplicações na saúde humana.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. (Documentos, 358)

WANG, X. et al. Dietary intake of tomatoes and risk of cardiovascular diseases. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 115, p. 90–97, 2022.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnol. Adv.**, 24 (4) (2006), pp. 389-409, 10.1016/j.biotechadv.2006.01.005

WORLD TRADE IN TOMATO PRODUCTS. (2023). **Tomato News**. Disponível em: https://www.tomatonews.com/en/trade_46.html Acesso em: 09 jun.2025

WU X, Yu L, Pehrsson PR. 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**. 2022 Feb 1;13(1):138-151. doi: 10.1093/advances/nmab109. PMID: 34666349; PMCID: PMC8803485.

ZHAO, X. et al. Isomerization of lycopene and its impact on bioavailability: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 123, p. 1–11, 2022.

4. Capítulo 2 - Avaliação quantitativa de compostos bioativos e minerais em tomates processados.

RESUMO

Este capítulo apresenta uma investigação experimental voltada à avaliação quantitativa de compostos bioativos e minerais em sete variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ‘Grape 1’, ‘Grape 2’, ‘Mesa’, ‘Pizzadoro’, ‘Longa Vida’, ‘Coquetel’ e ‘Amarelo’ submetidas a diferentes métodos de processamento: cocção, desidratação e liofilização. O objetivo central foi compreender como as técnicas de conservação afetam a estabilidade e a biodisponibilidade de nutrientes, de modo a subsidiar estratégias tecnológicas para o aproveitamento nutricional e industrial do fruto. As análises laboratoriais contemplaram a determinação de macro e micronutrientes, compostos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico, licopeno, β -caroteno e clorofilas. Observou-se que os efeitos do processamento variaram entre as variedades, com destaque para a liofilização, que apresentou maior eficiência na preservação de carotenoides e minerais, especialmente ferro e zinco, enquanto a desidratação promoveu a concentração de compostos fenólicos. Já o processamento térmico do tipo cocção resultou em maior degradação de vitaminas termossensíveis, como o ácido ascórbico. As análises indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, evidenciando que a escolha do método de processamento e do cultivar influencia diretamente o valor nutricional do produto final. Os resultados reforçam a importância de empregar técnicas de menor impacto térmico para a manutenção dos atributos funcionais e minerais do tomate, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos processados com maior valor agregado e para o uso sustentável das matérias-primas agroindustriais.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; processamento térmico; liofilização;

carotenoides; minerais.

ABSTRACT

This chapter presents an experimental investigation aimed at the quantitative evaluation of bioactive compounds and minerals in seven tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) ‘Grape 1’, ‘Grape 2’, ‘Mesa’, ‘Pizzadoro’, ‘Longa Vida’, ‘Coquetel’, and ‘Amarelo’ subjected to different processing methods: cooking, dehydration, and freeze-drying. The central objective was to understand how preservation techniques affect the stability and bioavailability of nutrients, thereby supporting technological strategies for the nutritional and industrial use of tomatoes. Laboratory analyses included the determination of macro and micronutrients, phenolic compounds, flavonoids, ascorbic acid, lycopene, β -carotene, and chlorophylls. The results showed that processing effects varied among cultivars, with freeze-drying being the most efficient in preserving carotenoids and minerals especially iron and zinc while dehydration promoted the concentration of phenolic compounds. Thermal processing by cooking led to greater degradation of heat-sensitive vitamins, such as ascorbic acid. Statistical analyses indicated significant differences among treatments, demonstrating that both the processing method and the cultivar directly influence the nutritional value of the final product. The findings highlight the importance of employing low-thermal-impact techniques for maintaining the functional and mineral attributes of tomatoes, contributing to the development of processed foods with higher added value and to the sustainable use of agro- industrial raw materials.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L.; thermal processing; freeze-drying; carotenoids; minerals.

4.1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos industrializados e o aumento do consumo de derivados do tomate, como molhos, extratos, produtos desidratados e liofilizados, evidenciam a necessidade de compreender os efeitos do processamento sobre os nutrientes presentes nesse fruto.

Diversos estudos indicam que os tratamentos térmicos podem afetar significativamente a estabilidade, a biodisponibilidade e a bioacessibilidade de compostos bioativos e minerais, com impactos que variam conforme o tipo e a intensidade do processamento adotado (Wu *et al.* 2022; Vargas- Hernández *et al.* 2021).

Embora o licopeno apresente elevada estabilidade térmica e, em alguns casos, maior biodisponibilidade após o aquecimento, outros compostos, como a vitamina C e determinadas formas minerais, tendem a sofrer degradação ou perdas ao longo dos

processos térmicos e mecânicos (Silva *et al.* 2021; Domínguez-Pacheco *et al.* 2023).

Diante disso, torna-se fundamental quantificar as alterações promovidas por diferentes métodos de processamento, com o objetivo de preservar o valor nutricional dos alimentos e fomentar o desenvolvimento de tecnologias que otimizem a retenção de nutrientes.

Nesse contexto, a avaliação quantitativa de compostos bioativos e minerais em tomates submetidos a diferentes formas de processamento, como cocção, desidratação e liofilização, permite compreender as transformações físico-químicas envolvidas e suas implicações para a saúde humana. Além disso, tais investigações contribuem para o avanço de estratégias tecnológicas voltadas à produção de alimentos funcionais e nutricionalmente enriquecidos (Ferreira *et al.* 2023; Pérez *et al.* 2024).

Entretanto, esses tipos de processamento podem acarretar alterações importantes nos produtos finais, como modificações na aparência, variações na composição nutricional e mudanças nos teores de compostos antioxidantes, podendo resultar tanto em perdas quanto em ganhos (Capanoglu *et al.* 2008). Nos tomates *in natura*, por exemplo, a forma *trans* do licopeno tende a se organizar em estruturas cristalinas dentro dos cromoplastos, o que contribui para sua maior estabilidade térmica.

Nos tomates *in natura*, por exemplo, a forma *trans* do licopeno tende a se organizar em estruturas cristalinas dentro dos cromoplastos, o que contribui para sua maior estabilidade térmica (Colle *et al.* 2010). Por outro lado, o β -caroteno apresenta menor resistência ao calor, sendo mais suscetível à degradação térmica (Arballo *et al.* 2021).

Neste contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os principais efeitos dos diferentes métodos de processamento sobre o conteúdo de compostos bioativos e minerais em tomates, com base em evidências científicas atualizadas. Busca-se, assim, fornecer subsídios para a compreensão das alterações nutricionais decorrentes do processamento, bem como para o aprimoramento de tecnologias que favoreçam a preservação da qualidade nutricional desses alimentos.

4.2 REFERENCIAL TEÓRICO

O tomate pertencente à família *Solanaceae*, é uma das hortaliças mais

consumidas e valorizadas mundialmente, desempenhando papel central na agricultura, na indústria alimentícia e na culinária de diferentes culturas. Além de seu valor econômico e gastronômico, destaca-se como importante fonte de nutrientes e compostos bioativos, especialmente os carotenoides, pigmentos lipossolúveis amplamente distribuídos em vegetais. Esses compostos exercem funções essenciais na proteção contra o estresse oxidativo, na comunicação celular e na promoção da saúde humana (Rawat *et al.* 2024).

A indústria de processamento de tomate ocupa posição de destaque no setor alimentício global, sendo responsável pela produção de uma ampla gama de derivados, como polpa, extrato, molhos, ketchup, tomate desidratado e liofilizado. Essa cadeia produtiva contribui significativamente para a diversificação das formas de consumo e para a ampliação da vida útil dos produtos, por meio da aplicação de tratamentos térmicos específicos (Clemente *et al.* 2012). Contudo, esses processos podem acarretar perdas nutricionais relevantes, particularmente no que se refere a compostos bioativos e minerais (Capanoglu *et al.* 2008; Clemente *et al.* 2012).

Em 2024, a produção anual de tomate no Brasil foi de aproximadamente 4,7 milhões de toneladas, representando um crescimento de 0,9% em relação ao ano anterior (IBGE, 2025). O país se destaca como o maior produtor da América Latina e um dos principais consumidores do tomate e um dos principais consumidores de derivados do tomate (Lu *et al.* 2019).

O processamento industrial do fruto envolve etapas como cozimento, pasteurização e secagem, com o intuito de inativar enzimas, eliminar micro-organismos e reduzir o teor de água. Apesar dos benefícios tecnológicos, tais procedimentos podem alterar as características sensoriais e nutricionais do produto final, comprometendo a estabilidade de compostos bioativos e a retenção de minerais (Capanoglu *et al.* 2008).

É importante destacar que o termo “processamento” não deve ser interpretado de forma pejorativa. Alimentos processados não são, necessariamente, inferiores aos alimentos *in natura* em termos nutricionais. O processamento pode promover vantagens como maior segurança microbiológica, melhor digestibilidade e aumento da biodisponibilidade de determinados nutrientes e antioxidantes (McClements *et al.* 2011; Weaver *et al.* 2014).

A escolha da variedade de tomate mais adequada ao tipo de processamento é fator

determinante para minimizar perdas nutricionais e preservar a qualidade do produto final. Avaliar essas perdas é essencial tanto para a indústria quanto para o consumidor, pois contribui para o desenvolvimento de produtos mais nutritivos, seguros e funcionais (Capanoglu *et al.* 2008).

Além disso, a cadeia produtiva do tomate enfrenta desafios relacionados ao destino dos subprodutos gerados durante o processamento industrial. A geração anual desses resíduos é expressiva, e o descarte inadequado implica desperdício de recursos e impactos ambientais negativos. No entanto, estudos recentes evidenciam que esses subprodutos ainda contêm compostos bioativos de alto valor agregado, passíveis de reaproveitamento por setores como o alimentício, o cosmético e o farmacêutico (Eslami *et al.* 2022).

Do ponto de vista nutricional, os minerais presentes no tomate e em seus derivados desempenham funções vitais no organismo humano. Entre os macrominerais, o cálcio (Ca) é essencial para a formação e manutenção de ossos e dentes; o magnésio (Mg) atua na síntese proteica e na contração muscular; o potássio (K) regula o equilíbrio de fluidos e a condução nervosa; e o sódio (Na) participa da manutenção do equilíbrio eletrolítico.

Em relação aos microminerais, o cobre (Cu) integra enzimas e participa do metabolismo de proteínas; o ferro (Fe) é indispensável à formação da hemoglobina; o manganês (Mn) atua na atividade enzimática e no funcionamento do sistema nervoso; enquanto o zinco (Zn) é essencial para o metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos, compondo a estrutura de diversas enzimas (Jafari, Ghalehnoei & Dehnad, 2017).

Entre os compostos biologicamente ativos presentes nos tomates maduros, os fenólicos e os carotenoides se destacam, sendo o licopeno o constituinte mais estudado, amplamente reconhecido por sua atividade antioxidante e anticancerígena. O tomate e seus derivados são as principais fontes de ingestão de carotenoides na dieta de grande parte da população mundial (Salehi *et al.* 2019).

Diversos estudos demonstram que o processamento térmico pode favorecer a disponibilidade dos carotenoides. Stahl e Sies (1992) verificaram que o aquecimento contribui para a liberação do licopeno da matriz celular vegetal, aumentando sua biodisponibilidade. Shi *et al.* (2008) observaram que temperaturas entre 60 °C e 80 °C

favorecem a formação e o acúmulo de isômeros *cis*, formas mais biodisponíveis que os isômeros *trans*. O prolongamento do tempo de aquecimento, especialmente em temperaturas de 100 °C ou superiores (até 120°C) intensifica esse efeito, embora também possa provocar degradação de outros nutrientes termos sensíveis.

Assim, compreender a influência do processamento sobre os teores e a estabilidade dos carotenoides e minerais é fundamental para o aprimoramento de produtos processados de tomate e para a promoção de uma alimentação mais funcional e sustentável. No entanto, o processamento térmico pode induzir perdas de nutrientes devido à lixiviação da matriz alimentar e à ruptura celular provocada pelo calor. Diferentes trabalhos indicam que o uso de condições de secagem apropriadas pode preservar significativamente o conteúdo de compostos nutracêuticos. (M'hiri *et al.* 2018).

A desidratação, que envolve a remoção de líquido de um sólido por evaporação, ocorre por meio da transferência de calor e massa entre o produto e o meio externo. Apesar das vantagens, a maior limitação da secagem convencional é a degradação de substâncias nutricionais sensíveis e alterações nas características sensoriais dos alimentos (Berk, 2018).

A liofilização, por sua vez, é um processo de separação por sublimação no qual a água é removida do produto congelado, passando diretamente do estado sólido para o gasoso. Essa técnica oferece vantagens como manutenção da estrutura, sabor, aparência original e redução das perdas de vitaminas e compostos voláteis, além de preservar a digestibilidade e minimizar a desnaturação proteica (Bortolatto & Lora, 2001).

Segundo Wellala (2022), os dados disponíveis sobre os efeitos do processamento industrial nos carotenoides ainda são incipientes, inconsistentes e, por vezes, conflitantes. As variações observadas devem-se, em grande parte, às condições e aos métodos empregados, uma vez que temperaturas elevadas e tempos prolongados de processamento geralmente resultam em maiores perdas de carotenoides (Jacob *et al.* 2010).

Por outro lado, o aumento do teor de licopeno em produtos como extratos e molhos é atribuído à ação da temperatura, que rompe as paredes celulares e concentra o licopeno devido à redução do teor de umidade (Periago *et al.* 2005).

Esse efeito está diretamente relacionado ao processo de extração dos compostos da matriz alimentar, como demonstrado por Palermo *et al.* 2014. Embora tomates *in natura*

contenham naturalmente maior quantidade de compostos benéficos à saúde, produtos processados como purês, molhos e sucos ainda representam fontes significativas de carotenoides na dieta (Amaya, 2015).

Para preservar a qualidade sensorial e nutricional, diversas estratégias tecnológicas vêm sendo estudadas. A secagem, por exemplo, é uma das técnicas mais antigas de conservação, promovendo a estabilidade dos ingredientes alimentares por meio da remoção da água (Berk, 2018).

Por fim, acredita-se que os isômeros *cis* ofereçam maiores benefícios à saúde, por apresentarem melhor solubilidade em soluções lipofílicas, menor tendência à cristalização e maior eficiência no transporte celular (Shi & Le Maguer, 2000).

Portanto, ao compreender os efeitos do processamento térmico e a potencial utilização de resíduos do tomate, avança-se não apenas na valorização nutricional e tecnológica deste fruto, mas também na construção de estratégias sustentáveis para a cadeia agroindustrial.

O processamento do tomate está em constante mudança, juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias e novas variedades de tomates para processamento. Tecnologias avançadas de processamento, como o processamento de alta pressão, que utiliza menos energia e resulta em um produto de maior qualidade, estão sendo estudadas e, até certo ponto, comercializadas. (Wu, Yu, Perhsson, 2021)

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do processamento térmico por cocção, desidratação e liofilização sobre as propriedades funcionais e a quantificação de minerais em sete variedades de tomate.

Espera-se que os resultados obtidos possam gerar subsídios científicos para a escolha da variedade e do método de processamento mais adequados, visando à redução das perdas nutricionais e à manutenção da qualidade dos frutos, contribuindo para o aprimoramento de tecnologias de conservação e para o aproveitamento mais eficiente do tomate na cadeia produtiva.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.3.1 As amostras de tomates

Os tomates foram obtidos de produtores da cidade de Tupã. Os frutos foram colhidos no ponto de maturação fisiológica, ou seja, quando apresentaram coloração vermelha brilhante, e em seguida foram encaminhados aos laboratórios de Biologia e Química da Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP de Tupã para a etapa de pré-seleção.

Após a etapa de seleção, os frutos foram lavados em água corrente de abastecimento público, higienizados com solução clorada a 200ppm e divididos em 4 lotes correspondentes aos tratamentos, sendo T1 - Frutos *in natura*; T2- Molho de tomate; T3 – Tomate desidratado e T4 – Tomate liofilizado. A seguir são apresentadas as figuras de 1 a 7 representativas das variedades: ‘Grape 1’, ‘Grape 2’, ‘Mesa’, ‘Pizzadoro’, ‘Longa Vida’, ‘Coquetel’, e ‘Amarelo’ utilizadas no presente trabalho (Figura 2 e Figura 3).

Figura 2a: Variedade de tomate: ‘Grape 1’



Figura 2b: Variedade de tomate ‘Grape 2’



Figura 2c: Variedade de tomate ‘Mesa’



Figura 2d: Variedade de tomate ‘Pizzadoro’

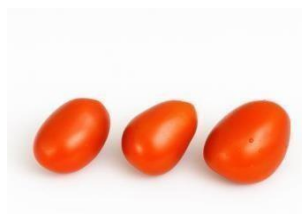


Figura 3a: Variedade de tomate ‘Longa Vida ‘



Figura 3b: Variedade de tomate ‘Coquetel’



Figura 3c: Variedade de tomate ‘ Amarelo’



Elaborado pela autora (2025)

Processamento

Obtenção do molho de tomate

Para a obtenção do molho de tomate, foram retiradas as cascas e sementes dos frutos, de modo a utilizar a metodologia mais próxima da indústria.

Posteriormente as polpas serão trituradas em processador doméstico e após este procedimento serão submetidos ao cozimento utilizando-se para a cocção em fervura uma panela de aço inox com tampa para evitar perdas.

A cocção foi realizada em temperatura próxima a 95°C, controlada com auxílio de termômetro digital, além de monitorar o teor de sólidos solúveis (°BRIX) com um refratômetro digital tipo Palette PR – 32 marcas ATAGO, para acompanhar as mudanças de temperatura do molho. Após estudos em catálogos empresariais e na literatura acadêmica (Monteiro, 2008) o valor definido para a finalização do molho será na faixa de 10-12°BRIX.

Obtenção do tomate seco por desidratação

Para a obtenção dos tomates secos, os frutos foram pesados e cortados ao meio no sentido longitudinal com o auxílio de facas de aço inoxidável. Este corte tem como objetivo a retirada das sementes e aumentar a superfície de contato com o ar de secagem, a fim de diminuir o tempo necessário para realizar a desidratação dos tomates.

Os tomates tiveram suas sementes retiradas, sendo colocados para secagem somente as metades com casca e polpa. Em sequência colocados em telas de nylon para facilitar a circulação da corrente de ar forçada à temperatura de 60°C durante 24 horas, segundo a metodologia adaptada de Araújo *et al.* (2014). O processo de secagem foi realizado em estufa com circulação e renovação de ar, modelo TE-394/3 MP da marca Tecnal, de ar com temperatura de 85 °C

Para se determinar o ponto final do processo de desidratação, pode-se utilizar a seguinte fórmula (equação 1):

$$Pf = Pi \times (100 - Ui) / (100 - Uf) \quad \text{(equação 1) Onde,}$$

Pf significa o peso líquido final para que o produto tenha a umidade desejada. Pi significa o peso inicial, obtido por meio de pesagem.

Ui significa a umidade inicial (93% b.u.)

Uf significa a umidade final desejada (64% b.u. para conserva).

Concluído o processo de desidratação, deve-se desligar o sistema de aquecimento de ar do secador e deixar apenas o ventilador ligado, até que o produto atinja a temperatura ambiente.

Obtenção do tomate liofilizado

Para a obtenção do tomate liofilizado, os frutos foram congelados a -80 °C.

O liofilizador utilizado será o K105 da LIOBRAS, composto basicamente por painel de controle, âmara de secagem, bandeja de aquecimento, câmara de condensação de vapor, compressor, sistema de vácuo, trocador de calor, secador de ar e saída de dreno.

O tipo de congelamento nesse método é o congelamento no ultra-freezer, que congela os alimentos em temperaturas extremamente baixas.

Após o congelamento as amostras foram inseridas nas bandejas do liofilizador, dando início ao processo de liofilização propriamente dita. A pressão final foram ser de cerca de 200 mmHg e a temperatura da câmara de secagem de -57 °C, com tempo total de desidratação de até 48 horas.

Após serem submetidas aos diferentes métodos de processamento, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em tubos falcon de 15mL em freezer a -20°C.

4.4 Análises laboratoriais

Quantificação de Minerais

Os minerais foram determinados segundo metodologia descrita por Perkin-Elmer, 1996. Para o preparo das amostras, as mesmas foram secas no liofilizador K105 da LIOBRAS, composto basicamente por painel de controle, câmara de secagem, bandeja de aquecimento, câmara de condensação de vapor, compressor, sistema de vácuo trocador de calor, secador de ar e saída de dreno, moídas para homogeneização e, conseqüentemente, melhor representatividade a partir de pequenas massas do material, onde se procederam as análises dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), segundo metodologia citada por Malavolta *et al.* (1997).

Compostos fenólicos

O conteúdo de fenóis totais foram analisados de acordo com o método espectrofotométrico e utilizando como reagente o reativo de Folin Ciocalteu (Singleton; Rossi Jr., 1965) e os resultados expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g⁻¹ massa fresca.

Quantificação de Carotenoides, Licopeno, β -caroteno, clorofila a e b

Todos os pigmentos da amostra foram extraídos com acetona:hexano (4:6) de uma só vez, e a leitura do sobrenadante realizada a 663nm, 645nm,

505nm e 453nm, mensurada por espectrofotometria. A partir desses valores, o conteúdo de clorofila a e b, licopeno e β -caroteno poderão ser estimados usando as equações propostas (Nagata; Yamashita, 1992).

Quantificação de Flavonoides

A extração foi realizada conforme o método descrito por Marques *et al.* (2015), com modificações. Utilizou-se 2 g de amostra e etanol 60% (v/v) como solvente, em volume suficiente para garantir a completa imersão do material sólido. O processo de extração foi conduzido em banho ultrassônico (Lucadema, modelo SLSBu), mantido a 20 °C por 2 horas.

Após o término da extração, as amostras foram centrifugadas a 4000 rpm por 5 minutos a 10°C em uma centrífuga refrigerada (Nova Técnica, modelo NT 815). O sobrenadante foi filtrado em membrana de nylon de 0,45 μ m e, em seguida, liofilizado. O extrato seco obtido foi ressuspendido em 2 mL de metanol e posteriormente analisado em UHPC NEXERA (Shimadzu).

O sistema UHPLC é composto por: controlador CBM-40, bomba de alta pressão NEXERA LC- 40D X3, degaseificador de membrana on-line DGU-405 (para até cinco canais), detector de arranjo de diodos (PDA) SPD-M40 e amostrador automático refrigerado SIL-40C X3.

Como fase móvel foi utilizado Metanol grau HPLC (B) e solução de 1% de Ácido fórmico (A), seguindo a programação abaixo:

Tabela 1 – Gradiente da fase móvel utilizado no ensaio cromatográfico

Tempo (min)	Fase móvel	%
0,00	A	50
10,00	A	15
10,01	A	50
12,00	A	50

Fonte: Elaborado pela autora.

O fluxo foi de 0,2 mL/min, e a temperatura do forno foi mantida a 30°. A coluna utilizada foi uma C18 Shim-pack XR-ODS 3.0mm i.d. x 75mm (Shimadzu).

Forma de análise dos dados: delineamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado foram inteiramente casualizado com esquema fatorial 5 X 4 (variedades X métodos de preparo, sendo 3 processamentos térmicos + testemunha) com 5 repetições.

A exceção se dará pelas determinações de flavonoides, vitaminas lipossolúveis e minerais - onde foram determinadas apenas 1 amostra de cada variedade e método de preparo. A análise estatística foi realizada a fim de investigar mais profundamente o comportamento dos dados obtidos além da possibilidade de utilização dos dados analisados estatisticamente para a elaboração de artigos e resumos para publicação.

Para avaliação estatística, as médias das 7 cultivares foram agrupadas pelo teste de Scott- Knott, com significância de 5%, a fim de se detectarem grupos muito similares baseados em análises de agrupamentos uni variados. A análise estatística foi realizada com o auxílio do software *Minitab*. Esta interpretação dos dados se mostrou mais simples e precisa para análise dos mesmos em pré-testes realizados.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Minerais

Os teores de macro e micronutrientes nas sete variedades de tomate ('Grape 1', 'Grape 2', 'Mesa', 'Pizzadoro', 'Longa Vida', 'Coquetel', 'Amarelo') submetidas a quatro formas de processamento (*in natura*, molho, desidratado e liofilizado) estão apresentados na Tabela 2.

De modo geral, identificou - se que os métodos de desidratação e liofilização provocaram alterações nos teores minerais, com efeitos distintos entre as variedades. Para os macronutrientes, como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P), foi verificado que os tratamentos térmicos resultaram, na maioria das vezes, em aumento da concentração aparente, o que pode ser explicado pela perda de umidade e consequente concentração dos sólidos totais, por exemplo, na variedade Amarelo, o teor de potássio aumentou de 32,3 g/kg no estado *in natura*

para 36,8 mg/kg na forma de molho e manteve – se elevado na forma desidratada 37,7 mg/kg.

Já para o cálcio (Ca), os efeitos variaram conforme o tipo de processamento. Na variedade ‘ Grape 2’ foram observados valores extremamente baixos de cálcio em todos os tratamentos, com variações de 0,1 a 0,8 g/kg, indicando uma limitação inerente à variedade quanto a esse nutriente, independentemente do tipo de processamento.

Quanto aos micronutrientes, como ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B), foi notado que os processos de desidratação e liofilização favoreceram, em muitos casos, a retenção e/ou concentração destes elementos.

Na variedade Coquetel, por exemplo, o teor de ferro aumentou significativamente após a desidratação (236 mg/kg), sendo este o maior valor registrado entre todas as amostras analisadas. O mesmo padrão de aumento também foi evidenciado para manganês e cobre em diferentes variedades.

Em contrapartida, a variedade Mesa apresentou níveis relativamente baixos de micronutrientes em todos os tratamentos, apesar disso, o processamento por liofilização promoveu aumento nos teores de zinco (10,9 mg/kg) e manganês (19,8 mg/kg), sugerindo que este método é mais eficiente na retenção mineral, possivelmente pela ausência de calor elevado e oxidação o que é consistente com os achados de Bengtsson *et al.* (2020) sobre estabilidade mineral em produtos vegetais liofilizados. A quantificação dos compostos fenólicos nas amostras de tomate revelou variações significativas entre as variedades e os tratamentos tecnológicos aplicados (Tabela 2).

A variedade 'Amarelo' apresentou os maiores teores médios de compostos fenólicos totais, diferindo estatisticamente das demais ($p < 0,05$), conforme indicado pelas letras acima das barras.

Entre os tratamentos, o processo de desidratação em estufa foi o que promoveu maior concentração desses compostos, formando um grupo estatístico distinto, conforme as letras inferiores.

Esse resultado pode ser atribuído à concentração dos sólidos solúveis

promovida pelo processo de desidratação, que tende a preservar ou concentrar compostos fenólicos pela remoção da água livre. Adicionalmente, o calor moderado pode romper estruturas celulares, liberando fenólicos ligados às paredes celulares, como também relatado por autores recentes.

Esses resultados evidenciam que a liofilização como uma das técnicas mais eficazes para preservar micronutrientes em vegetais. Segundo Zhang *et al.* (2021) a ausência de calor intenso e de exposição prolongada ao oxigênio reduz significativamente a degradação de minerais e vitaminas sensíveis, o que justifica a maior retenção observada neste trabalho.

Além disso, estudos de Silva *et al.* 2022 reforçam que, embora métodos térmicos como a desidratação convencional aumentem a concentração aparente de minerais devido à perda de água, essa elevação nem sempre representa maior biodisponibilidade, já que parte desses nutrientes pode sofrer alterações químicas que afetam sua absorção.

Outro ponto relevante é a influência genética das variedades de tomate. Trabalhos como o de Pérez-López *et al.* (2023) mostram que o conteúdo mineral basal difere substancialmente entre cultivares, o que implica que estratégias de processamento precisam ser ajustadas ao perfil nutricional de cada variedade.

Assim, a seleção criteriosa da técnica de processamento, aliada ao conhecimento da composição mineral intrínseca, é essencial para maximizar a qualidade nutricional do produto final.

Esses resultados evidenciam a influência significativa tanto da variedade quanto do tipo de processamento nos teores finais de minerais nos tomates, o que reforça a importância de selecionar a técnica de processamento mais adequada quando se objetiva a manutenção do valor nutricional. Além disso, destaca-se que estratégias tecnológicas de menor impacto térmico podem contribuir para a maior retenção de micronutrientes, preservando o perfil nutricional do produto final. (Gabrieli *et al.* 2024).

Minerais como potássio, cálcio, ferro, zinco e manganês desempenham funções essenciais no organismo, incluindo a regulação da pressão arterial, a manutenção da saúde óssea, o transporte de oxigênio, o suporte ao sistema

imunológico e a atividade de enzimas antioxidantes (Institute of Medicine, 2011; Razzaque, 2025).

O consumo regular de produtos processados de tomate, como concentrados e polpas, pode manter ou mesmo aumentar a concentração de minerais essenciais como potássio e ferro, devido à redução do teor de água — por exemplo, 100 g de concentrado de tomate podem fornecer até cerca de 35 % da necessidade diária de potássio (aproximadamente 1 224 mg K) e apresentar níveis elevados de ferro (até 1,23 mg Fe por 100 g), tornando-os fontes significativas desses nutrientes nas dietas humanas.(Petek *et al.* 2024)

Tabela 2 - Média de teores dos minerais em tomates submetidos a diferentes processamentos.

Variedade	Tratamento	mg/kg						mg/kg					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	
Longa Vida	In Natura	16,5	2,5	35,5	7,7	1,1	1,68	140	20	6	14	10	
	Molho	16,5	2,31	28,3	7,3	1,11	1,56	136	20	6	6	9	
	Desidratado	15,07	2,08	31,2	6,9	1,3	1,62	166	30	12	18	10	
	Liofilizado	17,94	2,67	32,5	6,9	1,1	1,78	120	28	12	6	11	
Pizzadoro	In Natura	17,22	2,28	34,6	7,4	1,4	1,74	130	20	6	6	8	
	Molho	17,22	2,16	34	6,1	1,3	1,47	166	32	10	4	8	
	Desidratado	15,79	2,39	35	7,9	1,4	2,08	152	20	6	6	8	
	Liofilizado	17,22	2,26	32,7	7,1	1,2	1,68	126	22	6	4	8	
Amarelo	In Natura	17,94	2,63	32,3	8	1,2	1,71	126	24	4	6	8	
	Molho	20,09	2,69	36,8	7,5	1,2	1,74	130	24	12	26	9	
	Desidratado	18,65	2,51	32,7	10,6	1,4	1,97	116	46	8	20	8	
	Liofilizado	19,37	2,47	33,9	7,9	1,2	1,83	146	22	8	22	10	
Grape 1	In Natura	14,35	2,3	26,5	7,4	1,2	1,68	138	18	8	8	8	
	Molho	14,35	2,31	28,1	7,3	1	2,24	150	20	6	12	6	
	Desidratado	15,07	2,39	31,4	7,6	1,1	1,6	112	30	8	10	9	
	Liofilizado	15,07	2,15	28	7	0,9	1,68	134	18	6	6	9	
Grape 2	In Natura	15	2,8	29,2	0,6	1,1	1,5	55,8	8,9	28	13,2	25,4	
	Molho	15,5	3,4	28	0,2	1,1	1,5	60	8	16,8	9,6	17,1	
	Desidratado	16,2	2,9	31	0,1	1,3	1,7	45	8,9	22,5	10,8	16,9	
	Liofilizado	14,3	3,2	28,3	0,8	1,1	1,3	72	7,8	23,5	10,8	16	
Coquetel	In Natura	14,35	2,3	26,5	7,4	1,2	1,68	138	18	8	8	8	
	Molho	15,79	2,18	30,7	7,4	1,3	1,5	152	22	12	8	8	
	Desidratado	14,35	1,95	27,6	6,8	1,2	1,59	236	20	6	36	8	
	Liofilizado	15,79	2,07	30,3	8,1	1,3	1,82	122	22	6	16	9	
Mesa	In Natura	16,3	2,8	29,7	0,2	1,2	1,6	52,2	9,4	25	12,6	22,5	
	Molho	15,2	3,7	27,7	0,5	1,2	1,7	52,2	10,1	18	9,6	14,3	
	Desidratado	14,4	3,2	27,8	0,2	1,2	1,6	42,6	7,6	21	11,4	18,5	
	Liofilizado	19,1	3,5	30,7	0,2	1,4	1,8	55,8	10,9	22,5	19,8	16	

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A quantificação dos compostos fenólicos nas amostras de tomate revelou

variações significativas entre as variedades e os tratamentos tecnológicos aplicados (Figura 4).

A variedade 'Amarelo' apresentou os maiores teores médios de compostos fenólicos totais, diferindo estatisticamente das demais ($p < 0,05$), conforme indicado pelas letras acima das barras. Entre os tratamentos, o processo de desidratação em estufa foi o que promoveu maior concentração desses compostos, formando um grupo estatístico distinto. Esse resultado pode ser explicado pela concentração dos sólidos solúveis promovida pelo processo de desidratação em estufa, que favorece o aumento dos compostos fenólicos devido à remoção da água livre.

Além disso, o calor moderado aplicado durante esse tratamento contribui para a ruptura das estruturas celulares, liberando compostos fenólicos que estavam ligados às paredes celulares.

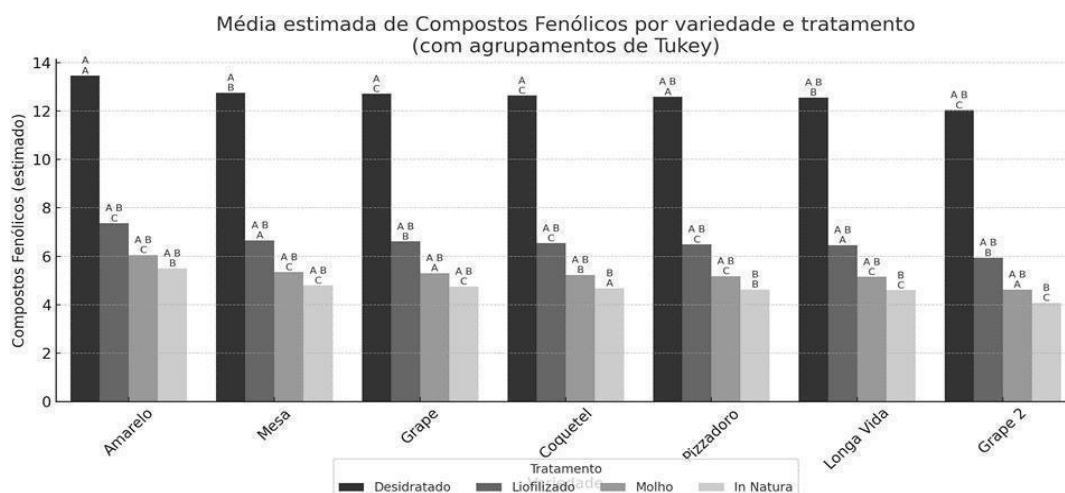
Pesquisas recentes também apontam que a ação do calor, aliada à redução da umidade, potencializa a disponibilidade desses compostos nos produtos derivados do tomate.

Dessa forma, foi possível verificar que produtos derivados do tomate submetidos à ação da temperatura apresentaram um aumento na disponibilidade de compostos devido à ruptura das paredes celulares, mas com o processo de liofilização pode ter resultados significativos em comparação à desidratação. Além disso, a diminuição da umidade foi um fator crucial para a concentração dos compostos (De Almeida Senna *et al.* 2021).

Esses resultados indicam que o processo de secagem é essencial para a liberação de compostos fenólicos, como observado nos tratamentos de liofilização e desidratação. A liofilização, embora eficiente, ocorre em baixas temperaturas, o que limita a liberação total dos compostos presentes no fruto.

Em contrapartida, o processo de desidratação, realizado em altas temperaturas, mostrou-se mais eficaz, pois permite que os compostos sejam liberados de maneira mais completa, maximizando o potencial do fruto. Assim, processos de secagem a altas temperaturas são mais adequados para preservar e intensificar a concentração desses compostos. (Souza da Costa *et al.* 2023)

Figura 4 - Comparação da Concentração de Compostos Fenólicos da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate



Médias estimadas por variedade de tomate e tipo de processamento. As letras posicionadas acima das barras indicam agrupamentos estatísticos obtidos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras superiores representam agrupamentos das variedades e as inferiores dos tratamentos.

Os teores de clorofila a variaram significativamente entre as variedades e os tratamentos (Figura 5). A variedade 'Coquetel', especialmente sob o tratamento desidratado, apresentou as maiores concentrações, sendo estatisticamente superior às demais. As letras indicativas nos gráficos confirmam agrupamentos distintos para essa variedade e tratamento.

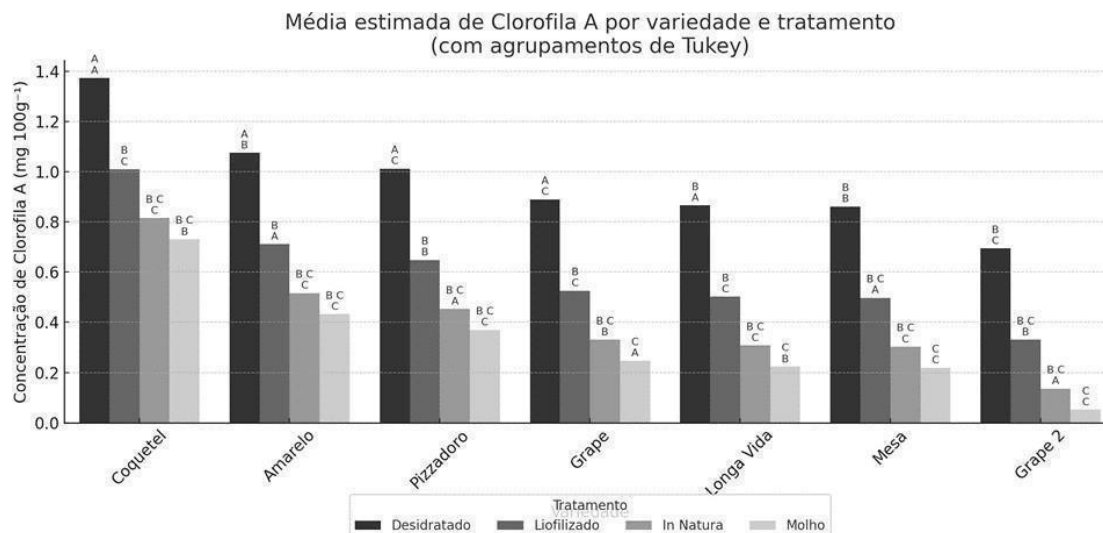
A preservação da clorofila em condições de desidratação controlada pode estar relacionada à menor degradação térmica em comparação com tratamentos como molho, nos quais a exposição ao calor úmido é mais intensa e prolongada, tais condições favorecem a feofitinação, processo que converte clorofilas em derivados marrons.

Estudos recentes confirmam que métodos como a desidratação por ar quente, quando realizados em condições otimizadas (temperatura e tempo), podem reduzir a degradação dos pigmentos, preservando parcialmente a estrutura da clorofila A (Rivera *et al.* 2022; Fratianni *et al.* 2022).

Por outro lado, processos mais severos, como cocção e esterilização,

aceleram reações de feofitinação e degradação oxidativa, resultando em menor retenção dos pigmentos fotossintéticos (Slimestad; Verheij, 2020).

Figura 5 - Comparação da Concentração de Clorofila a da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate.

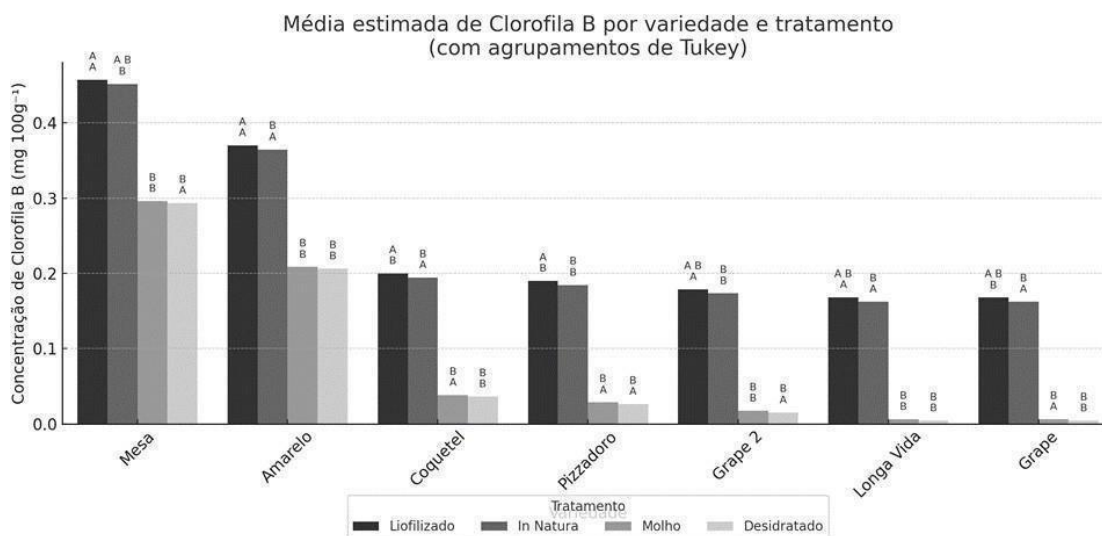


Médias estimadas por variedade de tomate e tipo de processamento. As letras posicionadas acima das barras indicam agrupamentos estatísticos obtidos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras superiores representam agrupamentos das variedades e as inferiores dos tratamentos.

A concentração de clorofila B seguiu tendência semelhante à da clorofila A (Figura 6). A variedade 'Mesa' se destacou com os maiores teores, formando um grupo estatístico isolado. Entre os tratamentos, *In Natura* e Liofilizado apresentaram os melhores resultados, com diferenças estatísticas significativas. A liofilização é reconhecida por sua capacidade de preservar pigmentos sensíveis, como as clorofilas, devido à ausência de calor direto e à remoção da água por sublimação.

Já as amostras *in natura* servem como padrão de comparação, apresentando teores máximos antes da degradação induzida por processamento. Este método tem se mostrado eficaz na manutenção da estabilidade estrutural das clorofilas, preservando não apenas a coloração verde, mas também a atividade antioxidante dos pigmentos fotossintéticos (Villarreal-Soto *et al.* 2023).

Figura 6 - Comparação da Concentração de Clorofila B da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate.

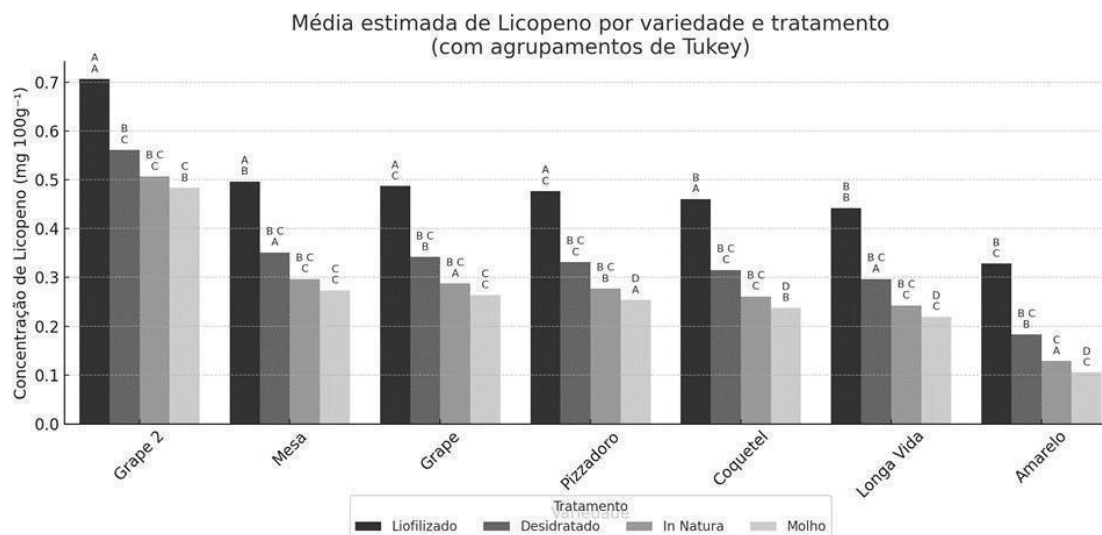


Médias estimadas por variedade de tomate e tipo de processamento. As letras posicionadas acima das barras indicam agrupamentos estatísticos obtidos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras superiores representam agrupamentos das variedades e as inferiores dos tratamentos.

Os resultados para o teor de licopeno (Figura 7) indicaram que a variedade 'Grape 2' obteve os maiores níveis do composto, com diferenças estatísticas em relação às demais. Em relação aos tratamentos, o liofilizado se destacou significativamente, sendo classificado como grupo estatístico isolado. O licopeno, por ser lipossolúvel e relativamente estável ao calor seco, pode ser parcialmente preservado ou até concentrado em tratamentos que removem água sem exposição a altas temperaturas úmidas.

A liofilização favorece essa preservação e tem sido apontada como tecnologia eficaz na retenção de carotenoides, especialmente devido às baixas temperaturas de contato e à pressão parcial reduzida de oxigênio, que minimizam a degradação de compostos como o licopeno (Regier *et al.* 2005).

Figura 7 - Comparação da Concentração de Licopeno da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate.



Médias estimadas por variedade de tomate e tipo de processamento. As letras posicionadas acima das barras indicam agrupamentos estatísticos obtidos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras superiores representam agrupamentos das variedades e as inferiores dos tratamentos

O uso da liofilização vem sendo amplamente utilizado para a averiguação da disponibilidade de compostos bioativos com qualidade na indústria alimentícia, podendo verificar em resultados que corroboram com tal afirmação de acordo com Urbonavičienė *et al.* (2021)

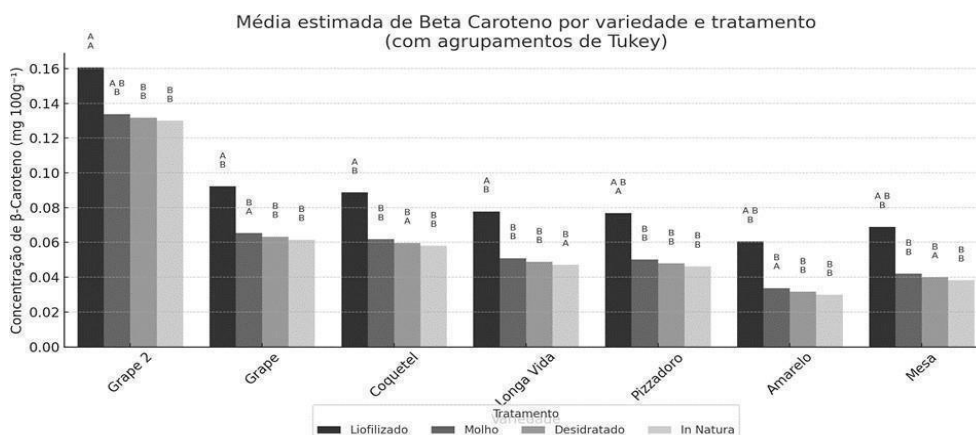
Para o β -caroteno (Figura 8), a variedade 'Grape 2' também apresentou o maior teor médio, estatisticamente distinto das demais. O tratamento liofilizado novamente destacou-se, compondo um agrupamento estatístico exclusivo (letra A), enquanto os demais tratamentos foram agrupados na categoria 'B'.

O β -caroteno, sensível à oxidação e à degradação térmica, é preservado preferencialmente em condições de baixo oxigênio e temperatura reduzida, como na liofilização. Este resultado reforça a vantagem dessa tecnologia na conservação de compostos bioativos em tomates, especialmente em variedades naturalmente ricas.

Esses achados indicam que, embora o tratamento desidratado em seguida da liofilização seja, em geral, os tratamentos mais eficientes na retenção de

carotenoides, sua eficácia pode variar de forma expressiva dependendo da variedade específica de tomate utilizada sendo decorrente da diminuição da atividade de água (Tonucci *et al.*, 1995).

Figura 8 - Comparação da Concentração de β -caroteno da interação de Diferentes Tratamentos e Variedades de Tomate.



Médias estimadas por variedade de tomate e tipo de processamento. As letras posicionadas acima das barras indicam agrupamentos estatísticos obtidos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras superiores representam agrupamentos das variedades e as inferiores dos tratamentos.

A quantificação dos flavonoides nas diferentes variedades e processamentos de tomate evidenciou ampla variação nos perfis de compostos bioativos, refletindo a interação entre fatores genéticos e tecnológicos. (Tabela 3)

Entre as cultivares avaliadas, a Grape 1 apresentou os maiores teores totais, especialmente quando submetida ao processamento por desidratação, no qual se observaram concentrações expressivas de genisteína ($62,91 \mu\text{g g}^{-1}$), daidzeína ($15,48 \mu\text{g g}^{-1}$) e quercetina ($1,96 \mu\text{g g}^{-1}$). Esse comportamento confirma a capacidade concentradora da remoção de água, processo que intensifica o teor de sólidos e favorece a retenção de fenólicos, conforme amplamente descrito na literatura recente (Szabó *et al.* 2022; Wang *et al.* 2023).

Embora em menor magnitude, a variedade Pizzadoro também apresentou incremento significativo de flavonoides no tratamento desidratado, demonstrando que, em determinadas condições, o efeito concentrador do processamento pode superar diferenças varietais.

Além disso, técnicas como a liofilização contribuíram para a manutenção da integridade fenólica, sobretudo em Grape 1 e Pizzadoro, alinhando-se a estudos que apontam esse método como um dos mais eficazes para preservar compostos antioxidantes em tomates e produtos vegetais (López-Yerena *et al.* 2023).

As variedades Longa Vida e Coquetel apresentaram perfis intermediários, porém com características específicas: Longa Vida mostrou maior diversidade de compostos após a desidratação, enquanto Coquetel destacou-se tanto na liofilização quanto na forma in natura, em que apresentou 9,65 µg/g de genisteína.

Esses resultados reforçam observações da literatura que associam cultivares tipo cocktail a elevada atividade antioxidante (Ciatti *et al.* 2022). Já a variedade Amarelo exibiu menores concentrações globais, mas manteve compostos como kaempferol e rutina em determinados processamentos, evidenciando que diferenças genéticas podem gerar assinaturas bioquímicas distintas mesmo sob condições idênticas de extração (Liu *et al.* 2023).

Entre os processamentos, a desidratação destacou-se como o mais eficiente para concentrar flavonoides na maior parte das variedades, enquanto o molho apresentou os menores teores, resultado compatível com perdas decorrentes do aquecimento prolongado e da degradação térmica (Lee *et al.* 2024).

Ainda assim, compostos como rutina e kaempferol demonstraram relativa estabilidade em algumas cultivares, sugerindo que a matriz e o perfil varietal modulam a resistência dos flavonoides ao calor, complementarmente, estudos recentes indicam que a desidratação controla melhor as reações oxidativas e protege flavonoides glicosilados, contribuindo para maior preservação da fração bioativa (Yang *et al.* 2022; Freitas *et al.* 2023).

Assim, os resultados confirmam que tanto a variedade quanto o método de processamento interferem significativamente no perfil fenólico dos tomates. Cultivares como Grape 1 e Coquetel apresentam maior potencial bioativo, enquanto técnicas como liofilização e, sobretudo, desidratação se consolidam como as mais eficientes para preservar ou concentrar flavonoides, corroborando tendências observadas na literatura contemporânea.

Tabela 3 – Média dos teores de flavonoides em tomates submetidos diferentes processamentos (µg/g)

Variedade	Processamento	Genisteína	Daidzeína	Quercetina	Rutina	Kaempferol
Grape 1	Molho	0,4302	0,4810	–	–	–
Grape 1	<i>In natura</i>	44,1219	–	0,2522	–	–
Grape 1	Liofilizado	0,2215	1,8090	0,1274	–	–
Grape 1	Desidratado	6,9107	15,4891	1,9659	–	0,3469
Pizzadoro	Liofilizado	0,5145	0,8831	–	0,3163	0,1765
Pizzadoro	Desidratado	15,5937	8,3586	1,5714	0,3948	0,1322
Pizzadoro	<i>In natura</i>	0,6967	–	–	0,0980	0,1554
Pizzadoro	Molho	0,1593	0,3446	–	0,0749	0,0618
Longa vida	Molho	0,3926	3,0400	0,3064	0,5180	0,5642
Longa vida	<i>In natura</i>	0,5938	–	–	0,1784	0,1787
Longa vida	Liofilizado	0,2932	0,2168	0,3151	–	0,0754
Longa vida	Desidratado	15,6383	14,0876	1,2797	0,2304	0,0540
Coquetel	Liofilizado	3,2460	0,2019	0,8077	–	0,1230
Coquetel	Molho	1,8599	0,3837	–	–	–
Coquetel	Desidratado	15,4291	7,8504	0,9221	–	0,0691
Coquetel	<i>In natura</i>	9,6449	–	–	0,1902	0,1108
Amarelo	Molho	0,6526	–	0,4145	0,2207	0,1706
Amarelo	<i>In natura</i>	3,1708	0,3916	–	–	–
Amarelo	Liofilizado	0,2561	0,2425	–	–	0,3885
Amarelo	Desidratado	11,5499	8,8818	0,8498	–	0,1011

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os resultados (Tabela 4) demonstram que o processamento térmico exerceu efeito distinto sobre os flavonoides avaliados. O ácido elágico foi o composto que apresentou maior variação, aumentando significativamente no molho e no desidratado, especialmente no cultivar Mesa, que alcançou 8,126 µg/g. Esse comportamento está associado à liberação de fenólicos ligados à parede celular durante o aquecimento, fenômeno amplamente descrito em estudos recentes (Santos *et al.* 2021; Wang *et al.* 2023).

Por outro lado, compostos como rutina, cumarina, ácido ferúlico e quercetina apresentaram pouca variação entre os tratamentos, mantendo concentrações próximas nos diferentes tipos de processamento. A estabilidade observada está relacionada à maior resistência térmica de flavonoides glicosilados, os quais tendem a sofrer menor degradação durante o aquecimento (Yang *et al.* 2022).

A comparação entre cultivares evidenciou diferenças importantes: a cultivar Mesa apresentou teores mais elevados de ácido elágico nos produtos processados,

sugerindo que características varietais, como teor inicial de compostos fenólicos e estrutura da polpa, influenciam diretamente a liberação dos bioativos após o processamento. Essa variabilidade entre cultivares também foi documentada em pesquisas recentes sobre composição de tomates destinados ao processamento (Freitas *et al.* 2023).

Do ponto de vista nutricional, os resultados indicam que o processamento pode aumentar a concentração e a disponibilidade de determinados flavonoides, especialmente em produtos concentrados, como molhos e desidratados. Isso reforça o potencial de produtos processados como fontes relevantes de compostos bioativos, desde que os métodos empregados favoreçam a preservação e liberação dos fenólicos.

Tabela 4 – Média dos teores de flavonoides e ácidos fenólicos em tomates submetidos a diferentes processamentos (µg/g)

Composto	Grape 2 <i>In natura</i>	Grape 2 Molho (média ± DP)	Mesa Molho	Mesa Desidratado
Rutina	0,027	0,029 ± 0,019	0,062	0,050
Ácido elágico	1,104	2,071 ± 2,695	8,126	6,102
Ácido cumárico	0,261	0,018 ± 0,005	0,021	0,023
Ácido ferúlico	0,021	0,018 ± 0,005	0,014	0,021
Cumarina	0,020	0,020 ± 0,000	0,020	0,022
Quercetina	0,022	0,01 ± 0,005	0,021	0,021

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste capítulo demonstraram que tanto a variedade quanto o método de processamento exercem influência significativa sobre os teores de compostos bioativos e minerais em tomates. Observou-se que a liofilização foi o método mais eficiente para a preservação de carotenoides e minerais, especialmente licopeno e β-caroteno, enquanto a desidratação promoveu a concentração de compostos fenólicos e flavonoides em função da remoção de água.

O processamento na forma de molho, embora tenha ocasionado reduções

quantitativas em alguns nutrientes, mostrou potencial para aumentar a biodisponibilidade de carotenoides, devido à ruptura da matriz celular e às transformações estruturais induzidas pelo aquecimento. Esses resultados evidenciam que o processamento térmico não deve ser interpretado apenas como fator de perda nutricional, mas também como uma ferramenta tecnológica capaz de modificar positivamente o perfil funcional dos alimentos.

A variabilidade entre cultivares destacou a importância da escolha da variedade adequada para cada tipo de processamento, uma vez que características intrínsecas dos frutos influenciam diretamente a estabilidade dos nutrientes.

De forma integrada, os achados deste capítulo fornecem subsídios científicos para a seleção de cultivares e tecnologias de processamento mais adequadas, contribuindo para o desenvolvimento de produtos derivados de tomate com maior valor nutricional, funcional e tecnológico, além de fortalecer estratégias mais eficientes e sustentáveis na cadeia agroindustrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAYA, D. B. R. **Food Carotenoids: Chemistry, Biology and Technology**. 2015.

ARAÚJO, L. M. **Polpa de Jambolão (*Syzygium cumini*) desidratada por liofilização e secagem em leito de jorro: Caracterização físico-química e funcional e impacto da secagem**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 2014.

ARBALLO, J.; AMENGUAL, J.; ERDMAN, J. W. JR. Lycopene: a critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. **Antioxidants**, Basel, v. 10, p. 342, 2021.

BENGTSSON, G. B. et al. Effect of drying methods on the content of mineral elements in vegetables: implications for nutritional quality. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 93, p. 103613, 2020.

BERK Z. Desidratação. Engenharia e tecnologia de processos alimentares (3ª ed.), **Academic Press** (2018) , pp. 513 – 566

BORTOLATTO, J; LORA, J. **Avaliação da composição centesimal de abacaxi liofilizado e In natura**. 2001. 115 f. Trabalho de conclusão de curso. São Paulo, 2001.

CAPANOGLU, E. et al. Processing tomatoes increases antioxidant activity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, 2008.

CIATTI, F., Rinaldi, M., & Ferrante, A. (2022). Antioxidant potential and phytochemical profile of cocktail-type tomato cultivars. **Journal of Food Biochemistry**, 46(3), e13891.

CIATTI, S. et al. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) processing and impact on the bioaccessibility of phenolics and carotenoids. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 849163, 2022. DOI: 10.3389/fnut.2022.849163.

CLEMENTE, C. et al. Changes in bioactive compounds during industrial processing of tomato. **Food Chemistry**, v. 130, 2012.

COLLE, I.; LEMMENS, L.; VAN BUGGENHOUT, S.; VAN LOEY, A.; HENDRICKX, M. Effect of thermal processing on the degradation, isomerization, and bioaccessibility of lycopene in tomato pulp. **J Food Sci**; 75:C753–9, 2010

DE ALMEIDA SENNA, Caroline; RODRIGUES, Marcy Heli Paiva; BADIALE-URLONG, Eliana. Impacto do processamento industrial na composição de tomates (*Solanum lycopersicum* L.). In: Agricultura e agroindústria no contexto do desenvolvimento rural sustentável. **Editora Científica Digital**, 2021. p. 202-217.

DOMÍNGUEZ-PACHECO, A. et al. Thermal processing impact on the nutritional and antioxidant properties of tomato products: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 3, p. 765–775, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05581-z>.

ESLAMI E, Carpentieri S, Pataro G, Ferrari G. A Comprehensive Overview of Tomato Processing By-Product Valorization by Conventional Methods versus Emerging Technologies. **Foods**. 2022 Dec 29;12(1):166. doi: 10.3390/foods12010166. PMID: 36613382; PMCID: PMC9818577

FERREIRA, G. R. et al. Effect of thermal processing on tomato bioactives. **Food Chemistry Advances**, v. 1, 2023.

FRATIANNI, F. et al. Effects of different drying processes on the preservation of phytochemicals in tomatoes. **Foods**, v. 11, n. 5, p. 709, 2022. DOI: 10.3390/foods11050709.

FREITAS, L. A. et al. Variation of bioactive compounds among tomato cultivars and implications for processing. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 118, p. 105–114, 2023.

FREITAS, L. A., Silva, P. R., & Monteiro, C. C. (2023). Processing effects on phenolic retention and antioxidant activity in tomatoes and derived products. **Food Chemistry Advances**, 2, 100145.

GABRIELI, A. C. et al. Processing impacts on mineral retention and bioaccessibility in tomatoes: A review. **Food Research International**, v. 178, p. 112156, 2024.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary reference intakes for calcium and vitamin D. Washington, DC: **The National Academies Press**, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17226/13050>.

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.** 60:192–8, 2010.

JACOB, K. et al. Stability of lycopene and β -carotene in tomato pulp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 213–218, 2010.

JAFARI, S. M.; GHALENOEI, M. G.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 436 *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 2* 311, p. 59–65, 2017

LEE, S. H. et al. Effect of nanoemulsions on lycopene bioaccessibility from tomato extract. **Journal of Food Engineering**, v. 345, 111402, 2024.

LIU, Y., Zhang, X., & Huang, D. (2023). Genetic variation in phenolic composition of colored tomato varieties and implications for nutritional quality. **Postharvest Biology and Technology**, 201, 112330.

LIU, Y. et al. Characterization of flavonoids and their biosynthetic pathways in tomatoes. **Molecules**, v. 28, p. 3401, 2023.

LÓPEZ - YERENA, A., Ninot, A., & Lamuela-Raventós, R. (2023). Effectiveness of freeze-drying in preserving antioxidant compounds in tomato-based matrices. **Food Research International**, 165, 112600.

LU, Z. et al. Sustainable valorisation of tomato pomace: A comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 86, n. February, p. 172–187, 2019

LU, Z. et al. Valorização sustentável do bagaço de tomate: uma revisão abrangente. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 172-187, fev. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.009>.

MARQUES, I. X.; SAMPAIO, L. R. V.; SILVA, B. A. S.; SOUSA, J. R.; SOUZA, M. C. M.; GONÇALVES, L. R. B. **Estudo da extração e acilação enzimática de flavonoides obtidos a partir da casca de *Passiflora edulis***. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2015.

McCLEMENTS, D. J. et al. The influence of processing on the nutritional quality of food. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 2, p. 35–56, 2011.

M’HIRI, N.; GHALI, R.; BEN, NASR, I.; BOUDHRIOUA, N. Effect of different drying processes on functional properties of industrial lemon by product. **Process Saf Environ Prot** 116:450–460. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.004>

MONTEIRO, Cristiane Schuler. **Desenvolvimento de Molho de Tomate *Lycopersicon esculentum* Mill: Formulado com Cogumelo *Agarius brasiliensis***. 2008. 176 f. Doutorado em Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/15780>. Acesso em: 16 jun. 2025.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. **Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit**. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish vol.39, nº 10, pg. 925-928, 1992

PARK, H.-A. et al. Anti-apoptotic effects of carotenoids in neurodegeneration. **Molecules**, v. 25, p. 3453, 2020. DOI: 10.3390/molecules25153453.

PALERMO M.; PELLEGRINI, N.; FOGLIANO, V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. **J Sci Food Agric**. 94:1057–1070. 2014.

PÉREZ, A. A. et al. Retention of carotenoids and minerals in tomato derivatives. **Food Bioscience**, 2024.

PÉREZ, Y. M. et al. Technological strategies to preserve nutritional quality of processed tomatoes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 140, p. 123–134, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.01.004>.

PERIAGO, M. J.; RINCON, F.; JACOB, B. K.; GARCIA-ALONSO, J.; ROS, G. Detection of keyfactors in the extraction and quantification of lycopene from tomato and tomato products. **J Agric Food Chem**; 55(22):8825-9. 2005

PERKIN-ELMER. **Atomic absorption spectroscopy**. Analytical methods. Norwalk: The Perkin- Elmer Corporation; 1996.

PETEK, M. et al. Content of potassium and iron in tomato products. **Scientific Papers**. Series B, Horticulture, v. 68, n. 2, p. 643-650, 2024. Disponível em: https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2024/issue_2/Art71.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

RAWAT, A., Upadhyay, M., & Singh, O. (2024). Exploring the pharmacological potential and traditional use of *Solanum lycopersicum* L. (Tomato): Areview. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 13(2),

768–771. <https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i2f.14920>

RAZZAQUE, M. S. Minerals and human health: from deficiency to toxicity. **Nutrients**, [S.l.] v. 17, n. 3, p. 454, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17030454>.

REGIER, M.; Mayer-Miebach, E.; Behnlian, D.; Neff, T.; Schuchmann, H., **High retention of lycopene and β -carotene during freeze-drying is due to low contact temperature and low oxygen partial pressure** (2005).

RIVERA, J. A. et al. Impact of drying methods on chlorophyll retention in vegetables: mechanisms and strategies for optimization. **Drying Technology**, v. 40, n. 5, p. 1056–1065, 2022.

SALEHI, B. et al. Tomato (*Solanum lycopersicum*) consumption and health. **Food Research International**, v. 126, 108572, 2019.

SANTOS, J. P., Almeida, C. F., & Oliveira, M. R. (2021). Heat-induced release of bound phenolics in tomato cultivars and impact on antioxidant capacity. **LWT – Food Science and Technology**, 147, 111–123.

SANTOS, J. P.; ALMEIDA, C. F.; OLIVEIRA, M. R. Effect of heat treatment on phenolic profile and antioxidant capacity of tomatoes. **LWT – Food Science and Technology**, v. 147, p. 111–123, 2021.

SHI, J. et al. Lycopene stability during food processing. **Journal of Medicinal Food**, v. 11, n. 4, p. 731–736, 2008.

SHI, J., & Le Maguer, M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 40(1), 1–4

SILVA, M. A. et al. Efeito do processamento térmico sobre compostos fenólicos em hortaliças. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. 1–10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.31220>.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158. 1965

SLIMESTAD, R.; VERHEUL, M. Stability of chlorophylls in green vegetables subjected to drying and storage. **Trends in Food Science & Technology**, v. 102, p. 25–35, 2020.

SOUZA DA COSTA, Bianca; OLIVÁN GARCÍA, Marta; SOLDEVILLA MURO, Germán; MOTILVA, Maria-Jose. A comparative evaluation of the phenol and lycopene content of tomato by-products subjected to different drying

methods. **LWT**, v. 179, p. 114644, 2023.

STAHL, W.; SIES, H. Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. **Journal of Nutrition**, v. 122, n. 11, p. 2161–2166, 1992.

SZABÓ, K. et al. Carotenoid recovery from tomato processing by-products through green chemistry. **Molecules**, v. 27, p. 3771, 2022. DOI: 10.3390/molecules27123771.

SZABÓ, K., Páli, T., & Csepregi, K. (2022). Influence of drying techniques on polyphenol content and antioxidant properties of processed tomatoes. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46(8), e16678.

TONUCCI, Linda H. et al. Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 3, p. 579–586, 1995.

URBONAVIČIENĖ, Dalia et al. Composition and Antioxidant Activity, Supercritical Carbon Dioxide Extraction Extracts, and Residue after Extraction of Biologically Active Compounds from Freeze-Dried Tomato Matrix. **Processes**. v. 9, n. 3, 2021.

VARGAS-HERNÁNDEZ, M. et al. Effects of processing on lycopene and other bioactive compounds in tomato products: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 13, p. 5136–5144, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11019>.

VILLARREAL-SOTO, S. A. et al. Comparative evaluation of pigment preservation in tomatoes subjected to freeze-drying and hot-air drying. **LWT – Food Science and Technology**, v. 178, p. 114599, 2023.

WANG, X. et al. Dietary intake of tomatoes and risk of cardiovascular diseases. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 115, p. 90–97, 2022.

WANG, R. et al. Release and transformation of bound phenolics in thermally processed tomatoes. **Food Research International**, v. 165, p. 112–208, 2023.

WANG, R., Chen, L., & Zhao, Q. (2023). Changes in free and bound phenolics of tomatoes subjected to different drying methods. **Food Research International**, 166, 112–480.

WEAVER CM, Dwyer J, Fulgoni VL 3rd, King JC, Leveille GA, MacDonald RS, Ordovas J, Schnakenberg D. **Alimentos processados: contribuições para a nutrição**. Am J Clin Nutr. 2014;99:1525–42

WELLALA, C. K. D. et al. Effect of food processing on carotenoid retention. **Foods**, v. 11, n. 6, p. 894, 2022.

WU, D.; YU, W.; PERHSSON, P. Industrial tomato processing: current trends and future developments. **Journal of Food Engineering**, v. 293, p. 110312, 2021

WU, H. et al. Impact of food processing on the bioaccessibility and bioavailability of carotenoids: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 21, p. 5816– 5832, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895710>.

YANG, H., Lu, Y., & Zhang, S. (2022). Stability of glycosylated flavonoids during thermal food processing and implications for antioxidant retention. **Food Hydrocolloids**, 134, 108–118.

ZHANG, W.; BAI, X. C.; LIU, G. Neural network modeling of ecosystems: a case study on cabbage growth system. **Ecol. Model** 201, 3–4. 2007.

ZHAO, X. et al. Isomerization of lycopene and its impact on bioavailability: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 123, p. 1–11, 2022.

5. Capítulo 3 : O tomate como aliado à saúde e bem-estar

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) destaca-se como um alimento funcional amplamente estudado em razão de seus potenciais benefícios à saúde humana e ao bem-estar. Rico em compostos bioativos, como licopeno, β -caroteno e flavonoides, o tomate apresenta reconhecida atividade antioxidante, anti-inflamatória e imunomoduladora. Este capítulo apresenta uma abordagem integrativa sobre o tomate como alimento funcional, discutindo a relação entre sua composição bioativa, os métodos de processamento e os impactos desses fatores na saúde humana, à luz de evidências científicas recentes e dos resultados experimentais obtidos nesta dissertação. A análise considera sete variedades de tomate submetidas a diferentes formas de preparo (in natura, molho, desidratação e liofilização), permitindo avaliar a influência conjunta da variedade e do processamento sobre a retenção e a biodisponibilidade de compostos fenólicos, carotenoides e flavonoides. Os resultados indicam que tanto a cultivar quanto o tipo de processamento exercem influência significativa sobre os teores de compostos bioativos, com destaque para a variedade Grape 2, especialmente quando submetida à liofilização, que apresentou maiores concentrações de licopeno e β -caroteno. A desidratação promoveu efeito de concentração de flavonoides, elevando o potencial funcional dos produtos, enquanto as vitaminas D₂ e D₃ foram detectadas apenas em níveis traço, confirmando a baixa relevância do tomate como fonte dessas vitaminas. De forma integrada, os achados reforçam o papel do tomate e de seus derivados como componentes estratégicos em

padrões alimentares voltados à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e à promoção da saúde, evidenciando, ainda, a importância do processamento na modulação da biodisponibilidade e da retenção de compostos bioativos.

Palavras-chave: tomate; alimento funcional; compostos bioativos; processamento de alimentos; saúde humana.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) stands out as a functional food widely investigated due to its potential benefits for human health and well-being. Rich in bioactive compounds such as lycopene, β -carotene, and flavonoids, tomato exhibits well-established antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties. This chapter presents an integrative discussion on tomato as a functional food, addressing the relationship between its bioactive composition, processing methods, and their impacts on human health, supported by recent scientific evidence and by the experimental results obtained in this dissertation. The analysis considers seven tomato varieties subjected to different preparation methods (fresh, sauce, dehydration, and freeze-drying), allowing the assessment of the combined effects of cultivar and processing on the retention and bioavailability of phenolic compounds, carotenoids, and flavonoids. The results indicate that both cultivar and processing method significantly influence the levels of bioactive compounds, with particular emphasis on the Grape 2 variety, especially when freeze-dried, which showed higher concentrations of lycopene and β -carotene. Dehydration promoted a concentration effect of flavonoids, enhancing the functional potential of the products, while vitamins D₂ and D₃ were detected only at trace levels, confirming the low relevance of tomato as a source of these vitamins. Overall, the findings reinforce the role of tomato and its derivatives as strategic components in dietary patterns aimed at the prevention of chronic non-communicable diseases and the promotion of health, while also highlighting the importance of processing in modulating the bioavailability and retention of bioactive compounds.

Keywords: tomato; functional food; bioactive compounds; food processing; human health.

5.1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ocupa posição de destaque entre as hortaliças mais consumidas no mundo e é amplamente reconhecido por seu elevado valor nutricional, constituindo importante fonte de vitaminas, minerais, fibras, carotenoides e compostos fenólicos. Além de seu uso culinário, estudos recentes têm demonstrado que o tomate e seus derivados exercem papel relevante na promoção da saúde humana, principalmente em função do potencial antioxidante e anti-inflamatório de seus constituintes bioativos (Martínez-

Hernández *et al.* 2022). Nesse contexto, tem-se reforçado o interesse científico em compreender como o consumo regular de tomate pode contribuir para estratégias de prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, em consonância com diretrizes de saúde pública e padrões alimentares contemporâneos.

Entre os compostos bioativos presentes no tomate, destacam-se o licopeno, o β -caroteno, os ácidos fenólicos e os flavonoides, os quais apresentam elevada capacidade de neutralização de radicais livres e de modulação de processos celulares associados ao estresse oxidativo. Evidências indicam que esses constituintes podem atuar na redução de marcadores inflamatórios, na melhora da saúde vascular, na proteção contra danos fotoinduzidos e na diminuição do risco de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de câncer (Canene-Adams *et al.* 2021; Moretti *et al.* 2025).

Avanços recentes também apontam que diferentes formas de processamento térmico, como cocção e a preparação de molhos, podem aumentar a biodisponibilidade de compostos como o licopeno, ao favorecer sua liberação da matriz celular e, conseqüentemente, sua absorção pelo organismo, potencializando seus efeitos biológicos (Ogundele *et al.* 2024). Dessa forma, a relação entre processamento e funcionalidade torna-se particularmente relevante, sobretudo considerando que grande parte do consumo de tomate pela população ocorre na forma processada.

Assim, este capítulo tem como objetivo avaliar as alterações nos teores de compostos bioativos e minerais em tomates submetidos a diferentes formas de processamento, considerando sua relevância nutricional e tecnológica, bem como sua importância para a alimentação da população brasileira. O tomate destaca-se como um alimento amplamente disponível e acessível, sendo consumido tanto na forma *in natura* quanto na forma de produtos processados, o que reforça a pertinência da análise dos efeitos do processamento sobre sua qualidade nutricional.

Nesse sentido, o presente capítulo fornece a base teórica necessária para a interpretação dos resultados experimentais obtidos nesta pesquisa, os quais envolvem a comparação entre diferentes variedades de tomate e distintos

tratamentos térmicos, com ênfase no impacto dessas variáveis sobre a disponibilidade de nutrientes e compostos bioativos, bem como sobre seu potencial na promoção da saúde e do bem-estar da população.

5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O tomate como alimento funcional e seus impactos na saúde

No Brasil, o Guia Alimentar para a População Brasileira, publicado pelo Ministério da Saúde, reforça a recomendação do consumo diário e variado de alimentos de origem vegetal, incluindo hortaliças como o tomate, sem especificar quantidades individuais por alimento, priorizando a diversidade, o grau de processamento e o padrão alimentar global.(Brasil, 2014; 2022).

Os tomates podem desempenhar um papel relevante em uma dieta saudável, podendo ser consumidos crus ou cozidos, sem perda significativa de valor nutritivo (Bowmik, 2012). Uma alimentação rica em tomates e seus derivados está associada a diversos benefícios à saúde, em grande parte atribuídos ao seu conteúdo antioxidante (Rao, 1999).

O licopeno, em especial, contribui para aumentar a eficácia dos protetores solares, oferecendo fotoproteção e reduzindo inflamações. Associado a flavonoides e ácidos fenólicos, potencializa efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios, ajudando a prevenir envelhecimento precoce, eritema e carcinogênese (Kontaxi *et al.* 2024).

O licopeno pode prevenir e/ou tratar queimaduras solares e fotoenvelhecimento e pode ser potencialmente eficaz contra cânceres de pele induzidos por UV. Como suplemento alimentar, o licopeno demonstrou melhorar a aparência e a pigmentação da pele e atenuar o eritema.(Zhang *et al.* 2023).

De forma complementar, o óleo de bagaço de tomate subproduto da indústria tem se mostrado promissor em cosméticos faciais, auxiliando na redução da inflamação cutânea, da sensibilidade e da melanina, além de proteger contra poluentes e contribuir para o equilíbrio da microbiota da pele (K. Rajkowska *et al.* 2024).

Os efeitos benéficos do tomate não se restringem à pele. O consumo regular de

tomates e seus derivados também está associado à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como as cardiovasculares, frequentemente relacionadas ao processo de aterosclerose (Camara *et al.* 2022).

Diretrizes alimentares internacionais reforçam a importância de dietas pobres em gorduras saturadas e ricas em compostos bioativos. Nesse contexto, a inclusão do tomate configura-se como estratégia valiosa para a promoção da saúde cardiovascular (Willcox *et al.* 2003; Plaza *et al.* 2023).

Carotenoides como licopeno, β -caroteno e luteína, presentes no tomate, também exercem funções específicas. Além de atuarem como antioxidantes, estão associados à redução do risco de doenças crônicas, incluindo comorbidades cardíacas e alguns tipos de câncer (Kumar *et al.* 2021).

O β -caroteno e a luteína ainda contribuem para a saúde ocular e para o fortalecimento do sistema imunológico (Gheonea *et al.* 2020; Silva *et al.* 2019).

Outro aspecto de destaque refere-se aos efeitos anti-inflamatórios do licopeno na área oncológica. Pesquisas em câncer de próstata evidenciam que esse carotenoide pode reduzir marcadores inflamatórios como IL-1, IL-6, IL-8 e TNF- α , além de induzir apoptose em células tumorais. Em modelos animais, observou-se redução significativa da carga tumoral e melhora na taxa de sobrevivência (Jiang *et al.* 2019).

Adicionalmente, fibras, vitamina C e fenólicos como o ácido ferúlico também demonstram propriedades anticancerígenas. Há ainda evidências de que o consumo de tomate auxilia na redução da hipertensão e do risco de aterosclerose, favorecendo a saúde cardiovascular. Outros efeitos relatados incluem a melhora na recuperação após exercícios físicos, a redução de danos musculares, a modulação do sistema imunológico e a diminuição do risco de infertilidade (Collins *et al.* 2022).

De forma abrangente, as propriedades benéficas do tomate relacionam-se principalmente à sua capacidade de prevenir doenças associadas ao envelhecimento, incluindo câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e Alzheimer, além de promover benefícios à pele, fertilidade e desempenho físico. Revisões recentes destacam, sobretudo, o licopeno como protagonista desses efeitos, embora outros constituintes também contribuam para o conjunto de benefícios à saúde (Collins *et al.* 2022).

Sendo uma das culturas mais populares do mundo, o tomate também tem sido considerado uma vacina comestível para uma ampla variedade de doenças, incluindo malária, coronavírus (COVID-19), infecções pelo papilomavírus humano, infecções pelo vírus da imunodeficiência humana, shigelose, cólera, antraz e hepatite B. (Sohrab, 2020)

Por fim, os benefícios do tomate para a saúde são potencializados quando inseridos em padrões alimentares equilibrados, como a dieta mediterrânea, uma vez que o licopeno apresenta maior biodisponibilidade quando dissolvido em azeite de oliva e submetido ao aquecimento (Farinetti, 2017). Dessa maneira, evidencia-se que o tomate possui um papel de destaque como alimento funcional e fonte estratégica de compostos bioativos de interesse para a saúde pública.

A multiplicidade de benefícios associados ao seu consumo abrangendo desde a fotoproteção cutânea até a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, reforçando a importância de investigações que integrem aspectos nutricionais, tecnológicos e farmacológicos, além disso, a valorização de subprodutos oriundos de seu processamento apresenta-se como alternativa promissora para a redução de resíduos agroindustriais e para o desenvolvimento de novos insumos com propriedades funcionais.

Nesse contexto, compreender de forma aprofundada os mecanismos biológicos e os efeitos fisiológicos de seus constituintes contribui não apenas para fundamentar recomendações dietéticas e estratégias de saúde preventiva, mas também para fomentar a inovação em setores voltados à nutrição, à cosmética e à sustentabilidade alimentar.

5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.3.1 As amostras de tomates

Os tomates foram obtidos de produtores da cidade de Tupã. Os frutos foram colhidos no ponto de maturação fisiológica, ou seja, quando apresentaram coloração vermelha brilhante, e em seguida foram encaminhados aos laboratórios de Biologia e Química da Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP de Tupã para a etapa de pré-seleção. Após a etapa de seleção, os frutos foram lavados em água corrente

de abastecimento público, higienizados com solução clorada a 200ppm e divididos em 4 lotes correspondentes aos tratamentos, sendo T1 - Frutos *in natura*; T2- Molho de tomate; T3 – Tomate desidratado e T4 – Tomate liofilizado. A seguir são apresentadas as figuras de 1 a 7 representativas das variedades: ‘Grape 1’, ‘Grape2’, ‘Mesa’, ‘Pizzadoro’, ‘Longa Vida’, ‘Coquetel’, e ‘Amarelo’ utilizadas no presente trabalho (Figura 9)

Figura 9a: Tomate ‘Grape 1’



Figura 9b: Tomate ‘Grape 2’



Figura 9c: Tomate ‘Mesa’



Figura 9d: Tomate ‘Longa Vida’



Figura 9e: ‘Pizzadoro’



Figura 9f: Tomate ‘Coquetel’



Figura 9g: Tomate ‘Amarelo’



Elaborado pela autora (2025)

Processamento

Obtenção do molho de tomate

Para a obtenção do molho de tomate, foram retiradas as cascas e sementes dos frutos, de modo a utilizar a metodologia mais próxima da indústria. Posteriormente as polpas foram trituradas em processador doméstico e após este procedimento foram submetidos ao cozimento utilizando-se para a cocção em fervura uma panela de aço inox com tampa para evitar perdas.

A cocção foi realizada em temperatura próxima a 95°C, controlada com auxílio de termômetro digital, além de monitorar o teor de sólidos solúveis (°BRIX) com um refratômetro digital tipo Palette PR – 32 marcas ATAGO, para acompanhar as mudanças de temperatura do molho. Após estudos em catálogos empresariais e na literatura acadêmica (Monteiro, 2008) o valor definido para a finalização do molho será na faixa de 10-12°BRIX.

Obtenção do tomate seco por desidratação

Para a obtenção dos tomates secos, os frutos foram pesados e cortados ao meio no sentido longitudinal com o auxílio de facas de aço inoxidável. Este corte tem como objetivo a retirada das sementes e aumentar a superfície de contato com o ar de secagem, a fim de diminuir o tempo necessário para realizar a desidratação dos tomates.

Os tomates tiveram suas sementes retiradas, sendo colocados para secagem somente as metades com casca e polpa. Em sequência colocados em telas de nylon para facilitar a circulação da corrente de ar forçada à temperatura de 60°C durante 24 horas, segundo a metodologia adaptada de Araújo *et al.* (2014). O processo de secagem foi realizado em estufa com circulação e renovação de ar, modelo TE- 394/3 MP da marca Tecnal, de ar com temperatura de 85 °C

Para se determinar o ponto final do processo de desidratação, pode-se utilizar a seguinte fórmula (equação 1):

$$Pf = Pi \times (100 - Ui) / (100 - Uf) \text{ (equação 1) Onde,}$$

Pf significa o peso líquido final para que o produto tenha a

umidade desejada. P_i significa o peso inicial, obtido por meio de pesagem.

U_i significa a umidade inicial (93% b.u.)

U_f significa a umidade final desejada (64% b.u. para conserva)

Concluído o processo de desidratação, deve-se desligar o sistema de aquecimento de ar do secador e deixar apenas o ventilador ligado, até que o produto atinja a temperatura ambiente.

Obtenção do tomate liofilizado

Para a obtenção do tomate liofilizado, os frutos foram congelados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. O liofilizador utilizado será o K105 da LIOBRAS, composto basicamente por painel de controle, âmara de secagem, bandeja de aquecimento, câmara de condensação de vapor, compressor, sistema de vácuo, trocador de calor, secador de ar e saída de dreno. O tipo de congelamento nesse método é o congelamento no ultra-freezer, que congela os alimentos em temperaturas extremamente baixas.

Após o congelamento as amostras foram inseridas nas bandejas do liofilizador, dando início ao processo de liofilização propriamente dita. A pressão final foram ser de cerca de 200 mmHg e a temperatura da câmara de secagem de $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$, com tempo total de desidratação de até 48 horas. Após serem submetidas aos diferentes métodos de processamento, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em tubos falcon de 15mL em freezer a -20°C .

5.3.2 Análises laboratoriais

Quantificação de Licopeno e β -caroteno

Todos os pigmentos da amostra foram extraídos com acetona:hexano (4:6) de uma só vez, e a leitura do sobrenadante realizada a 663nm, 645nm, 505nm e 453nm, mensurada por espectrofotometria. A partir desses valores, o conteúdo de licopeno e β -caroteno podem ser estimados usando as equações propostas (Nagata; Yamashita, 1992).

Quantificação de Flavonoides

A extração foi realizada conforme o método descrito por Marques *et al.* (2015), com modificações. Utilizou-se 2 g de amostra e etanol 60% (v/v) como solvente, em volume suficiente para garantir a completa imersão do material sólido. O processo de extração foi conduzido em banho ultrassônico (Lucadema, modelo SLSBu), mantido a 20 °C por 2 horas.

Após o término da extração, as amostras foram centrifugadas a 4000 rpm por 5 minutos a 10°C em uma centrífuga refrigerada (Nova Técnica, modelo NT 815). O sobrenadante foi filtrado em membrana de nylon de 0,45 µm e, em seguida, liofilizado. O extrato seco obtido foi ressuspensionado em 2 mL de metanol e posteriormente analisado em UHPLC NEXERA (Shimadzu).

O sistema UHPLC é composto por: controlador CBM-40, bomba de alta pressão NEXERA LC- 40D X3, degaseificador de membrana on-line DGU-405 (para até cinco canais), detector de arranjo de diodos (PDA) SPD-M40 e amostrador automático refrigerado SIL-40C X3.

Como fase móvel foi utilizado Metanol grau HPLC (B) e solução de 1% de Ácido fórmico (A), seguindo a programação abaixo:

Tabela 5 – Gradiente da fase móvel utilizado no ensaio cromatográfico

Tempo (min)	Fase móvel	%
0,00	A	50
10,00	A	15
10,01	A	50
12,00	A	50

Fonte: Elaborado pela autora.

O fluxo foi de 0,2 mL/min, e a temperatura do forno foi mantida a 30°. A coluna utilizada foi uma C18 Shim-pack XR-ODS 3.0mm i.d. x 75mm (Shimadzu).

Quantificação de Vitaminas Lipossolúveis

As vitaminas lipossolúveis foram quantificadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em sistema Shimadzu Prominence, equipado com bomba LC-

20AT, detector UV SPD- 20A, forno de coluna CTO-20A e amostrador automático SIL-10AF. A separação cromatográfica foi realizada em coluna Shim-pack VP-ODS (C18, 250 × 4,6 mm, 5 µm; Shimadzu), mantida a 40°C. O metanol grau cromatográfico foi utilizado como fase móvel em eluição isocrática, a um fluxo de 1,5 mL min⁻¹. O comprimento de onda para detecção foi ajustado para 290 nm. O volume de injeção foi de 20 µL para todas as amostras e soluções padrão. A identificação dos picos foi realizada por comparação dos tempos de retenção com padrões comerciais, enquanto a quantificação foi efetuada por curvas analíticas preparadas em cinco níveis de concentração.

Forma de análise dos dados: delineamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado foram inteiramente casualizado com esquema fatorial 5 X 4 (variedades X métodos de preparo, sendo 3 processamentos térmicos + testemunha) com 5 repetições. A exceção se dará pelas determinações de flavonoides, vitaminas lipossolúveis e minerais - onde foram determinadas apenas 1 amostra de cada variedade e método de preparo.

A análise estatística foi realizada a fim de investigar mais profundamente o comportamento dos dados obtidos além da possibilidade de utilização dos dados analisados estatisticamente para a elaboração de artigos e resumos para publicação.

Para avaliação estatística, as médias das 7 cultivares foram agrupadas pelo teste de Scott- Knott, com significância de 5%, a fim de se detectarem grupos muito similares baseados em análises de agrupamentos uni variados. A análise estatística foi realizada com o auxílio do software *Minitab*. Esta interpretação dos dados se mostrou mais simples e precisa para análise dos mesmos em pré-testes realizados.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 6, os resultados obtidos neste estudo demonstram que tanto a variedade quanto o processamento exercem influência decisiva sobre o

conteúdo de compostos bioativos em tomates, modificando o seu potencial funcional e a contribuição para a saúde humana. A variedade Grape 2, por exemplo, apresentou os maiores teores de licopeno e β -caroteno, especialmente quando submetida à liofilização. Esses achados possuem implicações significativas do ponto de vista nutricional, uma vez que os carotenoides são amplamente reconhecidos por sua ação antioxidante, anti-inflamatória e pelo papel protetor contra doenças crônicas não transmissíveis (DCNT).

O licopeno, conhecido por suas propriedades antioxidantes, mostrou reduzir o estresse oxidativo, um importante contribuinte para o desenvolvimento de doenças metabólicas, conforme relatado por Guo *et al.* (2023). Pesquisas sugerem que o consumo regular de licopeno como suplemento alimentar pode potencialmente remediar a resistência à insulina, a hipertensão e as complicações metabólicas relacionadas à obesidade, de acordo com Rejali *et al.* (2022).

À medida que indivíduos saudáveis envelhecem, a biodisponibilidade do licopeno tende a diminuir, possivelmente devido a alterações estruturais relacionadas à idade no trato gastrointestinal, que resultam em menor eficiência de absorção (Agarwal, 2014).

Além disso, o licopeno presente em produtos de tomate aquecidos e processados é melhor absorvido em comparação com o de tomates frescos e não processados, como descrito por Doyle (2020).

O licopeno é um potente antioxidante e um eficiente eliminador de radicais livres, tendo sido investigado e demonstrado proteger os rins contra danos induzidos quimicamente, segundo Bedir *et al.* (2021). Em casos de lesão ovariana induzida por metotrexato, o pré-tratamento com licopeno a 5 mg/kg de peso corporal durante 5 dias preveniu a infertilidade e demonstrou mediar o aumento da atividade da GSH, bem como a diminuição das concentrações de MDA e mieloperoxidase. (Turkley, 2020)

Evidências científicas mostram que o licopeno pode ser potencialmente usado para prevenir e tratar o diabetes mellitus, como indicado por Zhu *et al.* (2020). A ingestão de tomates e produtos à base de tomate tem sido associada a uma menor ocorrência de diferentes tipos de câncer, conforme relatado por Xu *et al.* (2021).

Além disso, a suplementação alimentar com licopeno mitigou o crescimento de células de câncer de mama, suprimindo a atividade da via de sinalização do receptor do fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1R), segundo Khan *et al.* (2021)

Tabela 6 – Média estimada dos teores de licopeno em tomates submetidos a diferentes processamentos (mg 100 g⁻¹)

Variedade	Liofilizado	Desidratado	In natura	Molho
Grape 1	0,55 Ab	0,40 Bc	0,38 Bb	0,33 Cb
Grape 2	0,70 Aa	0,55 Ba	0,50 Ba	0,45 Ba
Mesa	0,50 Ab	0,35 Bc	0,32 Bc	0,28 Bc
Pizzadoro	0,60 Aa	0,42 Bb	0,34 Cc	0,25 Dd
Longa Vida	0,55 Ab	0,45 Bb	0,35 Bc	0,30 Cb
Coquetel	0,50 Ab	0,38 Bc	0,35 B c	0,28 Cc
Amarelo	0,40 Ac	0,32 Bc	0,25 Cd	0,20 Cd

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (P>0,05)

Os resultados apresentados na Tabela 7 evidenciam que tanto a variedade quanto o processamento influenciam significativamente o conteúdo de compostos bioativos nos tomates, impactando diretamente seu valor nutricional. A variedade Grape 2 apresentou os maiores teores de licopeno e β -caroteno, especialmente após a liofilização, destacando-se como uma fonte expressiva de carotenoides com função antioxidante e anti-inflamatória. Esses compostos desempenham papel essencial na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, auxiliando na modulação do estresse oxidativo, da inflamação e de vias metabólicas associadas à obesidade, resistência à insulina e doenças cardiovasculares.

Entre os métodos de processamento avaliados, a liofilização mostrou maior eficiência na preservação dos compostos bioativos, o que reforça seu potencial para manter a qualidade nutricional dos produtos derivados de tomate. Embora tratamentos térmicos, como molho e desidratação, resultem em menores concentrações de carotenoides e fenólicos, eles podem aumentar a biodisponibilidade do licopeno devido à ruptura das estruturas celulares, mantendo seu potencial funcional. Assim, tanto o tipo de tomate quanto o processamento utilizado determinam o aporte final de compostos bioativos, influenciando a

contribuição desses alimentos para a promoção da saúde.

Quando ingeridos por meio de alimentos ou suplementos, o licopeno e o betacaroteno ajudam a controlar e prevenir diversas doenças, incluindo câncer, distúrbios metabólicos, inflamatórios, cardiovasculares, hepáticos, oftálmicos, esqueléticos e infertilidade, sendo considerados seguros em diferentes doses (Tufail *et al.* 2024).

No contexto nutricional, a atividade provitamina A do beta-caroteno é superior à de outros carotenoides, e sua deficiência na dieta pode resultar em condições como cegueira, olhos secos e morte prematura de bebês (Farasati Far *et al.* 2023). Devido a essa atividade provitamina A, o organismo humano utiliza o beta-caroteno nos processos de crescimento, desenvolvimento embrionário e manutenção da visão, o que reforça seus inúmeros benefícios à saúde e sua importância como componente medicinal (Kurniawan *et al.* 2023).

Além dos efeitos nutricionais, pesquisadores enfatizam a importância do uso de corantes naturais, como o licopeno e o betacaroteno, que, além de fornecerem pigmentação, podem agregar valor aos alimentos e contribuir para a melhoria da saúde geral. Para esse fim, esses carotenoides são extraídos por meio de diferentes procedimentos para posterior aplicação na indústria (Di Salvo *et al.* 2023).

Entretanto, o beta-caroteno é instável quando adicionado aos alimentos, pois é altamente suscetível à degradação térmica, luminosa e oxidativa, o que tem motivado a aplicação de diversas técnicas de processamento para aumentar a vida útil de produtos alimentícios. Como corante, o beta-caroteno é utilizado em alimentos como sorvetes, confeitados, produtos de panificação, bebidas de frutas e gorduras para conferir pigmentação vermelho-alaranjada, além de ser empregado pela indústria farmacêutica como pigmento natural em comprimidos, cápsulas e xaropes (Huang *et al.* 2023).

Devido ao seu potencial antioxidante, o beta-caroteno também é utilizado como ingrediente bioativo em formulações da indústria cosmética, visando à prevenção da oxidação da pele, dos danos causados pela radiação ultravioleta e, conseqüentemente, do câncer de pele, atuando ainda como pigmento natural em cosméticos (Suryana *et al.* 2023).

Tabela 7 – Concentração média de β -caroteno ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) em diferentes variedades e tratamentos de tomate

Variedade	In natura	Molho	Desidratado	Liofilizado
Grape 1	0,060 Cb	0,070 Bb	0,065 Cb	0,090 Ab
Grape 2	0,130 Ba	0,140 Ba	0,135 Ba	0,160 Aa
Mesa	0,035 Cd	0,050 Bc	0,045 Bc	0,070 Ac
Pizzadoro	0,045 Bc	0,060 Bc	0,055 Bb	0,080 Ac
Longa Vida	0,050 Bc	0,065 Bb	0,060 Bb	0,085 Ab
Coquetel	0,060 Bb	0,075 Bb	0,070 Bb	0,090 Ab
Amarelo	0,030 Cd	0,045 Bc	0,040 Bc	0,060 Ac

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($P > 0,05$)

As Tabelas 8 e 9 demonstram que os teores de flavonoides nos tomates variam de forma expressiva em função da variedade e do tipo de processamento, evidenciando impacto direto sobre o potencial nutricional desses alimentos. Na Tabela 8, observa-se que os tratamentos de desidratação resultaram, de modo geral, nos maiores valores de genisteína, daidzeína, quercetina, rutina e kaempferol, sobretudo nas variedades Grape 1, Pizzadoro, Coquetel, Longa Vida e Amarelo. Esse comportamento está associado principalmente ao efeito de concentração promovido pela remoção de água, elevando a densidade de compostos bioativos por unidade de massa e potencializando o valor funcional do produto final.

Do ponto de vista nutricional, a presença de isoflavonas (genisteína e daidzeína) e de flavonóis (quercetina, rutina e kaempferol) é particularmente relevante, uma vez que esses compostos estão associados à atividade antioxidante, anti-inflamatória e moduladora do metabolismo celular, contribuindo para a redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis.

Esses flavonoides apresentam efeitos cardioprotetores, melhoram a função endotelial, reduzem a rigidez arterial, fortalecem o sistema imunológico, contribuem para a síntese de colágeno e exibem propriedades hipocolesterolêmicas e antimicrobianas (Woźniak *et al.* 2023). Além disso, seus benefícios incluem efeitos antidiabéticos, com aumento da sensibilidade à insulina e redução dos níveis glicêmicos, bem como a inibição de citocinas pró-inflamatórias,

como TNF- α e IL-6.

A Tabela 9 complementa essa análise ao detalhar flavonoides e ácidos fenólicos específicos, como rutina, quercetina, ácido elágico, ácido cumárico, ácido ferúlico e cumarina, evidenciando que o processamento influencia não apenas a quantidade total, mas também o perfil dos compostos presentes. Destaca-se o aumento de ácidos fenólicos e flavonoides em tomates desidratados, particularmente na variedade Mesa, reforçando o potencial desses produtos como ingredientes funcionais.

Estudos indicam ainda que tomates liofilizados ricos em flavonóis e antocianinas são capazes de modulação positiva da microbiota intestinal, aumentando populações de *Flavobacterium* e *Lactobacillus* e reduzindo *Oscillospira*, o que resulta em respostas inflamatórias atenuadas e prevenção de danos intestinais associados à colite crônica (Scarano *et al.* 2018). O ácido elágico é particularmente relevante por sua ação antioxidante e efeitos anticancerígenos, sendo apontado como composto funcional de destaque na literatura atual (Ullah *et al.* 2022).

Entre os flavonóis, a quercetina destaca-se como composto representativo, amplamente reconhecido por sua capacidade antioxidante na neutralização de radicais livres, contribuindo para a proteção contra doenças cardiovasculares e processos carcinogênicos (Mahmud *et al.* 2023).

De forma complementar, os flavonoides têm múltiplos efeitos benéficos para a saúde em distúrbios metabólicos, como doenças cardiovasculares, câncer, obesidade e diabetes (Middleton *et al.* 2000).

A atividade antidiabética desses compostos auxilia na regulação da digestão de carboidratos, na sinalização da insulina, na secreção de insulina, na captação de glicose e na deposição de tecido adiposo (Vinayagam , Xu, 2015). Nos últimos 20 anos, a atenção científica tem sido voltada para compostos naturais, como os flavonoides, que atuam como agentes antidiabéticos (Ong , Khoo, 2000).

Diante desse conjunto de evidências, fica evidente que os flavonoides presentes no tomate e em seus derivados desempenham papel fundamental na promoção da saúde. A ação conjunta desses compostos reforça o potencial funcional

do alimento e destaca a importância do consumo regular. Assim, os resultados obtidos nesta pesquisa reforçam a relevância nutricional e metabólica dos tomates processados.

Tabela 8 – Média dos teores de flavonoides em tomates submetidos a diferentes processamentos (µg g⁻¹)

Variedade	Processamento	Genisteína	Daidzeína	Quercetina	Rutina	Kaempferol
Grape 1	Molho	0,4302	0,4810	–	–	–
Grape 1	<i>In natura</i>	44,1219	–	0,2522	–	–
Grape 1	Liofilizado	0,2215	1,8090	0,1274	–	–
Grape 1	Desidratado	6,9107	15,4891	1,9659	–	0,3469
Pizzadoro	Liofilizado	0,5145	0,8831	–	0,3163	0,1765
Pizzadoro	Desidratado	15,5937	8,3586	1,5714	0,3948	0,1322
Pizzadoro	<i>In natura</i>	0,6967	–	–	0,0980	0,1554
Pizzadoro	Molho	0,1593	0,3446	–	0,0749	0,0618
Longa vida	Molho	0,3926	3,0400	0,3064	0,5180	0,5642
Longa vida	<i>In natura</i>	0,5938	–	–	0,1784	0,1787
Longa vida	Liofilizado	0,2932	0,2168	0,3151	–	0,0754
Longa vida	Desidratado	15,6383	14,0876	1,2797	0,2304	0,0540
Coquetel	Liofilizado	3,2460	0,2019	0,8077	–	0,1230
Coquetel	Molho	1,8599	0,3837	–	–	–
Coquetel	Desidratado	15,4291	7,8504	0,9221	–	0,0691
Coquetel	<i>In natura</i>	9,6449	–	–	0,1902	0,1108
Amarelo	Molho	0,6526	–	0,4145	0,2207	0,1706
Amarelo	<i>In natura</i>	3,1708	0,3916	–	–	–
Amarelo	Liofilizado	0,2561	0,2425	–	–	0,3885
Amarelo	Desidratado	11,5499	8,8818	0,8498	–	0,1011

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Tabela 9 – Média dos teores de flavonoides e ácidos fenólicos em tomates submetidos a diferentes processamentos (µg g⁻¹)

Composto	Grape 2 <i>In natura</i>	Grape 2 Molho (média ± DP)	Mesa Molho	Mesa Desidratado
Rutina	0,027	0,029 ± 0,019	0,062	0,050
Ácido elágico	1,104	2,071 ± 2,695	8,126	6,102
Ácido cumárico	0,261	0,018 ± 0,005	0,021	0,023
Ácido ferúlico	0,021	0,018 ± 0,005	0,014	0,021
Cumarina	0,020	0,020 ± 0,000	0,020	0,022
Quercetina	0,022	0,01 ± 0,005	0,021	0,021

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Vitaminas Lipossolúveis (Vitamina D2 e D3)

As análises cromatográficas realizadas para vitamina D2 e D3 mostraram

que, em praticamente todas as amostras avaliadas, os valores ficaram muito próximos do limite de detecção do método. A maioria dos resultados foi igual a 0,000 mg/mL ou apresentou pequenas oscilações entre 0,001 e 0,007 mg/mL, indicando que esses compostos estão presentes apenas em níveis traço quando presentes. Essa ausência praticamente completa já era esperada, uma vez que o tomate, assim como a maioria das hortaliças, não possui vias metabólicas capazes de produzir quantidades relevantes de vitamina D.

A literatura recente reforça esse comportamento. Estudos têm demonstrado que os vegetais, de maneira geral, não são fontes adequadas dessa vitamina, porque sua síntese ocorre predominantemente em organismos animais ou em fungos expostos à radiação UVB (Cardwell *et al.* 2021; Godar *et al.* 2022). Mesmo quando frutas e hortaliças são submetidas a radiação UV artificial, o aumento observado costuma ser muito pequeno e sem relevância nutricional, como discutido por Jäpelt e Jakobsen (2023), que têm estudado extensivamente a formação e estabilidade da vitamina D em matrizes vegetais.

No caso dos tomates analisados, a variação entre valores traço e ausência total provavelmente está mais relacionada ao limite de detecção analítico ou a pequenas interferências cromatográficas do que a diferenças reais entre as amostras. Essa interpretação é suportada por pesquisas que mostram a instabilidade das vitaminas D2 e D3 em alimentos vegetais e a dificuldade de quantificação em concentrações tão baixas (Ślupski *et al.* 2020; Itonen *et al.* 2021).

Assim, embora o tomate seja reconhecido pela presença de compostos bioativos importantes como carotenoides, fenólicos e minerais, sua contribuição para o aporte de vitamina D na dieta humana é praticamente nula. Isso está em total consonância com as evidências que apontam que a maior parte da vitamina D obtida pela população provém de alimentos de origem animal, produtos fortificados e, principalmente, da síntese cutânea estimulada pela exposição solar (Curtis *et al.* 2020; Mendes *et al.* 2022).

No conjunto, os resultados revelam que o processamento, quando conduzido de forma adequada, pode aumentar a biodisponibilidade e/ou concentrar compostos bioativos, fortalecendo o valor funcional de produtos derivados de tomate.

Liofilização e desidratação emergem como técnicas promissoras para maximizar o potencial antioxidante e anti-inflamatório, enquanto variedades como Grape 1, Grape 2 e Coquetel demonstram maior aptidão intrínseca para aplicações como alimentos funcionais. Esses achados reforçam que o tomate processado, longe de representar perda nutricional, pode constituir componente essencial na promoção da saúde e na prevenção de DCNT quando utilizado em estratégias tecnológicas que favoreçam a retenção e liberação de bioativos.

5.5 CONCLUSÃO

A literatura demonstra que o tomate e seus derivados constituem importantes fontes de carotenoides, flavonoides e outros compostos bioativos, associados à proteção antioxidante, à modulação de processos inflamatórios e à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Evidencia-se, ainda, que tanto a variedade quanto o tipo de processamento térmico exercem influência direta sobre o teor e a biodisponibilidade desses nutrientes, aspectos fundamentais para a qualidade nutricional dos alimentos consumidos pela população.

Métodos de conservação como a desidratação e a liofilização tendem a preservar ou concentrar compostos funcionais, enquanto processos de aquecimento moderado podem favorecer a liberação de fenólicos anteriormente ligados à matriz vegetal. Nesse contexto, variedades como Grape 1, Grape 2 e Coquetel destacam-se pelo maior potencial bioativo. Entretanto, é importante ressaltar que essas cultivares, em geral, apresentam maior custo de comercialização, o que pode limitar seu acesso por parte de parcelas significativas da população.

Dessa forma, os conhecimentos sintetizados neste capítulo reforçam que, embora determinadas variedades apresentem maior capacidade de preservação de compostos bioativos, a acessibilidade econômica constitui um fator determinante para o consumo populacional. Assim, os resultados discutidos fornecem subsídios para a busca de estratégias de processamento que possibilitem maximizar o valor nutricional de variedades mais acessíveis,

contribuindo para a promoção da saúde e do bem-estar por meio da alimentação, considerando a realidade socioeconômica da população brasileira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta dissertação, o tomate foi analisado não apenas como um produto agrícola ou matéria-prima industrial, mas como um alimento inserido em um sistema agroalimentar complexo, no qual decisões tomadas desde a escolha da variedade até o método de processamento impactam diretamente a qualidade nutricional, o aproveitamento dos recursos e a saúde do consumidor.

Essa abordagem integrada permitiu compreender que o processamento de alimentos não deve ser interpretado exclusivamente como uma etapa de conservação, mas como uma ferramenta estratégica de valorização nutricional e tecnológica.

Os resultados obtidos evidenciam que diferentes métodos de processamento promovem respostas distintas nos compostos bioativos e minerais do tomate, reforçando que não há uma solução única, mas sim escolhas tecnológicas que podem ser orientadas pelo conhecimento científico. Nesse contexto, a compreensão do comportamento desses nutrientes ao longo do processamento contribui para a otimização do uso da matéria-prima, a redução de perdas nutricionais e o desenvolvimento de produtos com maior valor agregado, alinhando eficiência produtiva e qualidade alimentar.

Dessa forma, esta pesquisa dialoga diretamente com os princípios do consumo e da produção responsáveis, conforme estabelecido pela Agenda 2030 das Nações Unidas, em especial a ODS 12, ao gerar subsídios científicos que favorecem práticas mais sustentáveis ao longo da cadeia agroalimentar.

Ao integrar aspectos agronômicos, tecnológicos e nutricionais, o trabalho reafirma o papel da ciência de alimentos como área essencial para a construção de sistemas mais eficientes, conscientes e resilientes, nos quais o alimento transcende sua função básica e passa a atuar como elemento central na promoção da segurança alimentar, da qualidade de vida e do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.; Durairajanayagam, D.; ONG, C.; Prashast, P. Lycopene and male infertility. **Asian Journal of Andrology**, v. 16, n. 3, p. 420–425, 2014. DOI: 10.4103/1008-682X.126384.

BEDIR, F.; Kocaturk, H.; Turangezli, O.; et al. Protective effect of lycopene against renal oxidative damage associated with combined use of isoniazid and rifampicin in rats. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 54, e10660, 2021. DOI: 10.1590/1414-431X2020e10660.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para crianças brasileiras menores de 2 anos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2022.

BHOWMIK, D.; Kumar, K. S.; Paswan, S.; Srivastava, S. Tomato – a natural medicine and its health benefits. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 1, n. 1, p. 33–43, 2012.

CANENE-ADAMS, R. et al. The impact of tomato products on biomarkers of inflammation: A systematic review. **Nutrition Reviews**, v. 79, n. 10, p. 1130–1145, 2021. DOI: 10.1093/nutrit/nuaa142.

CÁMARA, Montaña; Fernández-ruiz, Virginia; sánchez-mata, María-Cortés; Cámara, rosa m.; domínguez, laura; sesso, howard d. Scientific evidence of the beneficial effects of tomato products. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 14 mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.849841>.

COLLINS, Edward J.; BOWYER, Cressida; TSOUZA, Audrey; CHOPRA, Mridula. Tomates: uma revisão abrangente dos impactos associados à saúde dos tomates e dos fatores que podem afetar seu cultivo. **Biology (Basel)**, v. 11, n. 2, p. 239, 4 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11020239>.

DI SALVO, E., Lo Vecchio G., De Pasquale R., et al. 2023. “Produção de pigmentos naturais e sua aplicação nas indústrias alimentícia, de saúde e outras.” **Nutrients** 15, nº 8: 1923.

DOYLE, L. M. Lycopene: implications for human health – a review. **Advances in Food Technology and Nutritional Sciences – Open Journal**, v. 6, n. 1, p. 1–12, 2020. DOI: 10.17140/AFTNSOJ-6-163.

FARASATI Far, B., Broomand Lomer N., Gharedaghi H., Sahrai H., Mahmoudvand G. e Karimi Rouzbahani A. 2023. “O consumo de beta-caroteno está associado aos níveis de hormônios da tireoide? **Frontiers in Endocrinology** 14: 1089315.

FARINETTI, A.; Zurlo, V.; Manenti, A.; Coppi, F.; Mattioli, A. V. Mediterranean diet and colorectal cancer: a systematic review. **Nutrition**, v. 43, p. 83–88, 2017. DOI: 10.1016/j.nut.2017.06.008.

GHEONEA, I.; APRODU, I.; ENACHI, E.; HORINCAR, G.; BOLEA, C. A.; BAHIM, G. E.; et al. Investigações sobre a termoestabilidade de carotenoides de cascas de tomate em óleos usando uma abordagem cinética. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14303>

GUO, W.; Huang, D.; LI, S. Lycopene attenuates oxidative stress-induced cellular injury in human vascular endothelial cells via the SIRT1/Nrf2/HO-1 pathway. **Clinical and Experimental Hypertension**, v. 45, n. 1, 2023. DOI: 10.1080/10641963.2023.2205051.

HUANG, A.; Liu, H.; Pan, Y. Antioxidant capacity and extraction yield of beta-carotene. **Highlights in Science, Engineering and Technology**, v. 58, p. 256–264, 2023.

JIANG, L. N.; Liu, Y. B.; LI, B. H. Lycopene exerts anti-inflammatory effects to inhibit prostate cancer progression. **Asian Journal of Andrology**, v. 21, n. 1, p. 80–85, 2019. DOI: 10.4103/aja.aja_6_18.

KHAN, U. M.; Sevindik, M.; Zarrabi, A.; et al. Lycopene: food sources, biological activities, and human health benefits. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2021, p. 1–10, 2021. DOI: 10.1155/2021/2713511.

KONTAXI, N.-I.; PANOUTSOPOULOU, E.; OFRYDOPOULOU, A.; TSOUPTAS, A. Anti- Inflammatory Benefits of Grape Pomace and Tomato Bioactives as Ingredients in Sun Oils against UV Radiation for Skin Protection. **Applied Sciences**, v. 14, n. 14, p. 6236, 2024. DOI: 10.3390/app14146236

KUMAR, M.; TOMAR, M.; BHUYAN, D. J.; PUNIA, S.; GRASSO, S.; SÁ, A. G. A.; et al. Semente de tomate (*Solanum lycopersicum* L.): uma revisão sobre bioativos e atividades biomédicas. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 142, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112018>.

KURNIAWAN, D.; Nora, A.; Sari, R. P. Product, process and net present value analysis of a palm oil-based beta-carotene industry. **International Journal of Applied Science and Engineering**, v. 20, n. 3, p. 1–10, 2023

MAHMUD, AR, Ema, TI, Siddiquee, MF . *et al.* Flavonóis naturais: ações, mecanismos e potencial utilidade terapêutica para diversas doenças. **Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci** 12 , 47 (2023). <https://doi.org/10.1186/s43088-023-00387-4>

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, D. et al. Tomatoes: An extensive review of the associated health benefits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n.

3, p. 1-28, 2022. DOI: 10.3390/ijms23031648.

MIDDLETON, E.; Kandaswami, C.; Theoharides, T. C. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. **Pharmacological Reviews**, v. 52, p. 673–751, 2000.

MORETTI, M. et al. From farm to industry: Overview of tomatoes, lycopene's health benefits, and the sustainable valorization of by-products. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 1, p. e48276, 2025. DOI: 10.33448/rsd-v14i1.48276.

OGUNDELE, I. N. et al. Thermal processing of tomatoes: Effects on physicochemical properties and antioxidant activity. **Foods**, v. 13, n. 22, p. 3678, 2024. DOI: 10.3390/foods13223678.

ONG, K. C.; Khoo, H. E. Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats. **Life Sciences**, v. 67, p. 1695–1705, 2000. DOI: 10.1016/S0024-3205(00)00758-X.

OTUNOLA, S. et al. Tomato seed meal derived from agrifood waste: Antioxidant and antimicrobial potential. **Journal of Food Quality**, v. 2024, p. 1-12, 2024. DOI: 10.1155/2024/8824581.

PLAZA, L.; Rodríguez, A. A.; Concha-Meyer, A.; et al. Effects of extraction methods on phenolic content and antioxidant and antiplatelet activities of tomato pomace extracts. **Plants**, v. 12, n. 5, p. 1–20, 2023. DOI: 10.3390/plants12051188.

QIAN, H.; SHENG, M. Simultaneous determination of fat-soluble vitamins A, D and E and pro- vitamin D₂ in animal feeds by one-step extraction and high-performance liquid chromatography analysis. **Journal of Chromatography A**, v. 825, p. 127–133, 1998.

RAJKOWSKA, K., Otlewska, A., Raczyk, A. *et al.* Valorisation of tomato pomace in anti- pollution and microbiome-balance face cream. **Sci Rep** **14**, 20516 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71323-4>

RAO, A. V.; Agarwal, S. Role of antioxidant lycopene in the prevention of chronic diseases: a review. **Nutrition Research**, v. 19, p. 305–323, 1999. DOI: 10.1016/S0271-5317(98)00193-6.

REJALI, L.; Ozumerzifon, S.; Nayeri, H.; Asgary, S. Reduction of cardiovascular disease risk: biological mechanisms of lycopene. **Bioactive Compounds in Health and Disease**, v. 5, n. 10, p. 202–221, 2022. DOI: 10.31989/bchd.v5i10.975.

SCARANO, A.; Butelli, E.; DE Santis, S.; et al. Dietary anthocyanins, flavonols and stilbenoids alleviate inflammatory bowel disease symptoms in mice. **Frontiers**

in **Nutrition**, v. 4, p. 75, 2018. DOI: 10.3389/fnut.2017.00075.

SILU ZHANG; LU, S.; Wang, Y.; et al. The efficacy of a novel tomato extract formulation on skin aging and pigmentation: a randomized, double-blind, parallel-controlled trial. **Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology**, v. 1, n. 1, p. 100005, 2024. DOI: 10.1016/j.jdsct.2024.100005.

SILVA, Y. P. A.; BORBA, B. C.; PEREIRA, V. A.; REIS, M. G.; CALIARI, M.; BROOKS, M. S. L.; FERREIRA, T. A. P. C. Caracterização de subproduto do processamento de tomate para uso como potencial ingrediente alimentar funcional: composição nutricional, atividade antioxidante e compostos bioativos. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 70, n. 2, p. 150-160, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1489530>

SOHRAB, S. S. Development of an edible vaccine against coronavirus disease 2019: the concept. **Clinical and Experimental Vaccine Research**, v. 9, p. 164–168, 2020. DOI: 10.7774/cevr.2020.9.2.164.

SURYANA, M. R.; Haziman, M. L.; Islamawan, P. A.; Hariadi, H.; Yusuf, D. Use of beta-carotene pigment to improve chemical and sensory qualities of food products: a review. **Journal of Functional Food and Nutraceutical**, v. 4, p. 66–78, 2023.

TUFAIL, T.; BADER, U. I. A.; NOREEN, S.; IKRAM, A.; ARSHAD, M. T.; ABDULLAHI, M. A. Nutritional benefits of lycopene and beta-carotene: a comprehensive overview. *Food Science & Nutrition*, v. 12, n. 11, p. 8715–8741, 2024. DOI: 10.1002/fsn3.4502.

TURKLER, C.; Onat, T.; Yildirim, E.; et al. Experimental study on the use of lycopene to prevent infertility due to acute ovarian oxidative damage caused by a single high dose of methotrexate. **Advances in Clinical and Experimental Medicine**, v. 29, n. 1, p. 5–11, 2020. DOI: 10.17219/acem/111809.

ULLAH, R. et al. Ellagic acid: therapeutic potential, pharmacological activities and molecular mechanisms. **Food Research International**, v. 157, p. 111237, 2022.

VINAYAGAM, R.; XU, B. Antidiabetic properties of dietary flavonoids: a cellular mechanism review. **Nutrition & Metabolism**, v. 12, p. 60, 2015. DOI: 10.1186/s12986-015-0057-7.-7

WILLCOX, J. K.; CATIGNANI, G. L.; LAZARUS, S. Tomatoes and cardiovascular health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 43, n. 1, p. 1–18, 2003. DOI: 10.1080/10408690390826437.

WOZNIAC, E.; Broncel, M.; Niedzielski, M.; Woźniak, A.; Gorzelak-Pabiś, P. Effect of hypolipidemic therapies on pro-inflammatory and anti-inflammatory properties of vascular endothelial cells. **PLoS One**, v. 18, e0280741, 2023. DOI:

10.1371/journal.pone.0280741.

XU, X.; LI, S.; Zhu, Y. Dietary tomato and lycopene intake and risk of all-cause and cause-specific mortality: results from a prospective study. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, 2021. DOI: 10.3389/fnut.2021.684859.

ZHANG, X.; Zhou, Q.; QI, Y.; et al. Effects of tomato and lycopene on clinical features and molecular markers of UV-induced skin damage: a systematic review and meta-analysis. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–20, 2023. DOI: 10.1080/10408398.2022.21645.

ZHU, R.; Chen, B.; BAI, Y.; et al. Lycopene in protection against obesity and diabetes: a mechanistic review. **Pharmacological Research**, v. 159, 2020. DOI: 10.1016/j.phrs.2020.104966.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

BHOWMIK, D. et al. Tomato – A Natural Medicine and its Health Benefits. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 1, n. 1, p. 33–43, 2012.

BORGUINI, R.G.; FERRAZ, C.M. Nutritional value of tomato and its processing. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 310–316, 2009.

BORTOLATTO, J; LORA, J. **Avaliação da composição centesimal de abacaxi liofilizado e In natura**. 2001. 115 f. Trabalho de conclusão de curso. São Paulo, 2001.

COPANOGLU, E. et al. Effects of processing on antioxidant activity and total phenolics of tomatoes. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, p. 1–6, 2010.

COSTA, R. R. et al. Tomato Products and Their Impact on Health: Benefits of Lycopene and Beyond. **Journal of Functional Foods**, v. 87, 2021.

EMBRAPA. **Sistema de Produção do Tomate**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2022.

MARTINS, M. L.; FERREIRA, L. C. Processing and antioxidant activity of tomato. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 2, p. 273–279, 2018.

ODS – **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 14 jun. 2025.

PERKINS-VEAZIE, P. et al. Lycopene and watermelon: recent research. **Acta Horticulturae**, v. 1234, p. 17–24, 2019.

RAO, A. V.; AGARWAL, S. Role of Antioxidant Lycopene in Cancer and Heart Disease. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 19, n. 5, p.563,569,2000.

SILVA, C. A. **Estatísticas da Produção Agrícola no Brasil**. IBGE, 2022.