UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

RAYANE SOARES DA SILVA

ESTABILIDADE DE CAROTENOIDES EM ALIMENTOS: FATORES QUE INFLUENCIAM SUA DEGRADAÇÃO

JOÃO PESSOA

2026

RAYANE SOARES DA SILVA

ESTABILIDADE DE CAROTENOIDES EM ALIMENTOS: FATORES QUE INFLUENCIAM SUA DEGRADAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba para a obtenção do grau de Tecnólogo em Alimentos.

Orientador(a): Prof.ª Drª. Fernanda Vanessa Gomes da Silva

JOÃO PESSOA

2026

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586e Silva, Rayane Soares da.
Estabilidade de carotenoides em alimentos: fatores que influenciam sua degradação / Rayane Soares da Silva. - João Pessoa, 2026.
30 f. : il.

Orientação: Fernanda Vanessa Gomes da Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Compostos bioativos. 2. Pigmentos naturais. 3. Alimento. I. Silva, Fernanda Vanessa Gomes da. II. Título.

UFPB/CTDR CDU 664

Elaborado por Rodrigo Araújo de Sá Pereira - CRB-755/O

RAYANE SOARES DA SILVA

ESTABILIDADE DE CAROTENOIDES EM ALIMENTOS: FATORES QUE INFLUENCIAM SUA DEGRADAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba para a obtenção do grau de Tecnólogo em Alimentos.

APROVADA EM: 08 / 04 / 2026

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
FERNANDA VANESSA GOMES DA SILVA
Data: 15/04/2026 16:35:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

PROFª Fernanda Vanessa Gomes da Silva

DTA/CTDR/UFPB

Orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
ADRIANA MARIA FERNANDES DE OLIVEIRA GOLZ
Data: 15/04/2026 18:17:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

PROFª Adriana Maria Fernandes de Oliveira Golzio

DTA/CTDR/UFPB

Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANGELA MARIA TRIBUZY DE MAGALHAES CORDI
Data: 15/04/2026 16:41:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

PROFª Ângela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro

DTA/CTDR/UFPB

Examinadora

“A Deus por ser meu sustento, e a minha família por ser minha inspiração”

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo seu infinito amor, bondade e graça. Por ter me dado força e saúde para chegar até aqui e superar todos os desafios.

Agradeço à minha família por todo o apoio e incentivo. Em especial, ao meu pai Francisco Soares da Silva (*in memoriam*), que sonhou comigo desde o início da minha jornada acadêmica, e a minha mãe Rita Maria da Silva, pelas sábias palavras de conforto e esperança sempre que precisei, aos meus irmãos e irmãs, sem o amor e a confiança de vocês, essa conquista não seria possível.

Agradeço ao meu esposo Roberto por caminhar comigo e pela compreensão em todos os momentos, especialmente nos mais difíceis. Aos meus amados filhos Heitor e Johnatan, que são o meu combustível diário de ânimo, alegria e determinação, e a razão da minha dedicação a buscar sempre crescer e conquistar novos objetivos.

Aos meus colegas e amigos, pela troca de ideias e pelos momentos de apoio, ao longo do curso.

A minha orientadora Dra. Fernanda Vanessa, pela paciência, dedicação, compromisso e pelos ensinamentos compartilhados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do CTDR, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional, por todo o conhecimento e as experiências que levarei para toda a vida.

RESUMO

Os carotenoides constituem pigmentos bioativos de elevada importância nutricional e funcional, amplamente distribuídos em alimentos de origem vegetal e em alguns de origem animal. Além de atuarem como agentes antioxidantes, são responsáveis pela coloração típica de frutas, hortaliças e de certos alimentos processados. No entanto, a estabilidade desses compostos mostra-se altamente influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos, como a composição da matriz alimentar, a exposição à luz, as variações de temperatura, a presença de oxigênio e as condições de processamento industrial. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão narrativa sobre os mecanismos de degradação dos carotenoides , bem como sobre as estratégias empregadas para preservar sua estabilidade. Foram consideradas publicações nacionais e internacionais no período de 2021 a 2026, abrangendo pesquisas experimentais, revisões e estudos aplicados ao setor alimentício e nutricional. Destacam-se, entre as principais estratégias de preservação dos carotenoides, a microencapsulação, o uso de nanocarreadores, o processamento controlado e as embalagens inteligentes. As evidências analisadas indicam que os métodos de preservação integrados, aliados à otimização das condições de armazenamento e à proteção da matriz alimentar, desempenham papel fundamental na estabilidade dos carotenoides e na manutenção de seu valor nutricional. Ademais, ressalta-se a relevância do monitoramento não invasivo da degradação, bem como a adoção de abordagens sustentáveis na extração e na incorporação desses pigmentos bioativos. Por fim, a revisão aponta lacunas no conhecimento científico e sugere perspectivas para futuras pesquisas sobre estabilidade, biodisponibilidade e orientação de práticas industriais mais eficientes. Tais avanços podem contribuir de forma significativa para o desenvolvimento de alimentos funcionais realmente estáveis e com potenciais benefícios à saúde humana.

Palavras-Chave: compostos bioativos; pigmentos naturais; alimentos funcionais.

ABSTRACT

Carotenoids are bioactive pigments of high nutritional and functional importance, widely distributed in plant-based foods and some animal-based foods. Besides acting as antioxidants, they are responsible for the typical color of fruits, vegetables, and certain processed foods. However, the stability of these compounds is highly influenced by intrinsic and extrinsic factors, such as the composition of the food matrix, exposure to light, temperature variations, the presence of oxygen, and industrial processing conditions. This study aimed to conduct a narrative review of the degradation mechanisms of carotenoids, as well as the strategies employed to preserve their stability. National and international publications from 2021 to 2026 were considered, encompassing experimental research, reviews, and studies applied to the food and nutrition sector. Among the main strategies for preserving carotenoids, microencapsulation, the use of nanocarriers, controlled processing and smart packaging stand out. The evidence analyzed indicates that integrated preservation methods, combined with the optimization of storage conditions and the protection of the food matrix, play a fundamental role in the stability of carotenoids and the maintenance of their nutritional value. Furthermore, the relevance of non-invasive monitoring of degradation is highlighted, as well as the adoption of sustainable approaches in the extraction and incorporation of these bioactive pigments. Finally, the review points to gaps in scientific knowledge and suggests perspectives for future research on stability, bioavailability, and guidance for more efficient industrial practices. Such advances can significantly contribute to the development of truly stable functional foods with potential benefits to human health.

Keywords: bioactive compounds; natural pigments; functional foods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1*- Estrutura química básica dos carotenoides* _____ *14*

Figura 2 *- Fatores intrínsecos de degradação dos carotenoides e estrutura química* _____ *15*

Figura 3 *- Estabilidade de carotenoides em alimentos* _____ *16*

Figura 4 *– Tecnologias para preservação de carotenoides* _____ *21*

Figura 5*- Estratégias tecnológicas para preservação de carotenoides* _____ *23*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 9
2. OBJETIVOS.....10
2.1 OBJETIVOS GERAL 10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....10
3. METODOLOGIA.....11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....12
4.1. Contextualização dos carotenoides.....12
4.1.1 Fatores intrínsecos: estrutura química.....13
4.1.2 Fatores extrínsecos: luz, oxigênio, temperatura, pH..... 15
4.1.3 Importância dos carotenoides para a saúde.....17
4.1.4 Considerações sobre a estabilidade durante armazenamento.....19
4.1.5 Estratégias tecnológicas de preservação..... 19
4.1.6 Estudos recentes sobre a preservação dos carotenoides em alimentos.....21
4.1.7 Perspectivas futuras e desafios na conservação de carotenoides.....22
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....25
REFERÊNCIAS.....26

1 INTRODUÇÃO

Os carotenoides, classificados em carotenos e xantofilas, são pigmentos naturais lipossolúveis presentes em diversas frutas, hortaliças e produtos de origem vegetal, sendo responsáveis por colorações que variam do amarelo ao vermelho e associados a efeitos bioativos relevantes para a saúde humana. Além de sua função estética, esses compostos exercem atividade antioxidante e desempenham papéis fisiológicos importantes, incluindo a modulação de respostas celulares ao estresse oxidativo (Meléndez-Martínez et al., 2022; Bohn et al., 2021; Arshad et al., 2025).

A estabilidade dos carotenoides em alimentos, por sua vez, é altamente influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Exposição à luz, oxigênio, variações de pH e temperatura, bem como interações com componentes da matriz alimentar são determinantes críticos que podem levar à oxidação, isomerização cis-trans e fragmentação molecular, comprometendo tanto a coloração quanto a bioatividade desses pigmentos (Sereti et al., 2025; Song et al., 2024).

Além das condições ambientais, a estrutura química específica de cada carotenoide influencia sua resistência à degradação. Carotenos e xantofilas, apresentam susceptibilidades diferentes diante do calor, oxigênio e luz, que se reflete na retenção de suas propriedades nutricionais durante processamento e armazenamento (Lv; Li; Pi, 2025).

Para tanto, o emprego de tecnologias emergentes tem sido aplicado com a finalidade de aumentar a estabilidade desses compostos bioativos. Estratégias como a nanoencapsulação, controle de atmosfera, processamento não térmico e uso de antioxidantes naturais tem demonstrado eficácia na preservação da cor, da bioatividade e da funcionalidade dos carotenoides em produtos alimentares (Amanda; Falaifi; Mardiyati, 2024).

A compreensão detalhada dos fatores que afetam a degradação de carotenoides é essencial para otimizar o desenvolvimento de alimentos funcionais e enriquecidos, garantindo maior retenção de pigmentos e preservação de seus benefícios nutricionais e fisiológicos, além de orientar práticas industriais mais eficientes e sustentáveis (Shahidi; Dissanayaka, 2023).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, por meio de revisão da literatura, os principais fatores que influenciam a degradação e a estabilidade dos carotenoides em alimentos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Descrever os carotenoides e sua estrutura química;
- ✓ Analisar a importância dos carotenoides para a saúde;
- ✓ Analisar a influência dos fatores intrínsecos e extrínsecos na degradação dos carotenoides;
- ✓ Discutir a estabilidade de carotenoides em diferentes matrizes alimentares;
- ✓ Avaliar estratégias tecnológicas de preservação de carotenoides em alimentos;
- ✓ Descrever as aplicações industriais e alimentares dos carotenoides;
- ✓ Discutir perspectivas futuras e desafios na conservação de carotenoides.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo consiste em uma revisão narrativa da literatura, caracterizada pela síntese e discussão de produções científicas previamente publicadas sobre um tema específico. Esse tipo de revisão é conduzido de maneira não sistemática nem metódica, o que permite uma abordagem mais ampla e interpretativa das informações disponíveis (Ogassavara et al., 2025). As análises da literatura científica existente desempenham papel fundamental na organização e na compreensão do conhecimento já produzido sobre o tema investigado, além de possibilitar a identificação de lacunas que demandam novas investigações. As buscas bibliográficas foram orientadas pela seguinte questão de pesquisa: “Estabilidade de carotenoides em alimentos: fatores que influenciam sua degradação?”.

A coleta de dados foi realizada no período de novembro de 2025 a março de 2026, por meio de consultas as bases de dados eletrônicas Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect e Google Scholar, utilizando descritores como “carotenoids”, “food stability”, “degradation”, “bioavailability”, “food processing”, “antioxidant properties” e “encapsulation”, combinados com operadores booleanos visando o refinamento e a otimização dos resultados obtidos.

Foram incluídos artigos originais e de revisão publicados em português e inglês, no período de 2021 a 2026, além de documentos oficiais nacionais e internacionais pertinentes ao tema. A seleção das publicações baseou-se em critérios de relevância científica, atualidade das informações e alinhamento com o objeto de estudo.

Em virtude das especificidades do tema investigado, priorizaram-se fontes de natureza qualitativa, por se mostrarem mais adequadas à condução de uma análise crítica, interpretativa e contextual dos fatores que influenciam a estabilidade e a degradação dos carotenoides em alimentos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Contextualização dos carotenoides

Os carotenoides são pigmentos amplamente encontrados na natureza, conhecidos por suas colorações atrativas e variadas, incluem tons que variam de vermelho, amarelo, e laranja. Esses compostos constituem uma importante classe de corantes naturais, sendo bastante utilizados nos setores alimentício, farmacêutico e cosmético (Sharat et al., 2024).

Nos alimentos, a presença de carotenoides está intimamente associada ao valor nutricional e a qualidade sensorial, influenciando a aceitação do consumidor. Em frutas como manga, mamão e melancia, e hortaliças como cenoura, abóbora e tomate, esses pigmentos naturais não apenas determinam a coloração, mas também estão relacionados a compostos bioativos de interesse para a saúde humana (Wijesekara; Xu, 2024).

Do ponto de vista nutricional, os carotenoides são fundamentais por atuarem como precursores de vitamina A, além de exercerem ação antioxidante, protegendo lipídios, proteínas e DNA contra danos oxidativos, possuem ação anti-inflamatória, tornando os carotenoides excelentes aliados no combate a inúmeras doenças, como obesidade, doenças cardiovasculares, inflamações agudas, e até certos tipos de câncer (Sereti et al., 2025).

Além de seus reconhecidos efeitos na promoção da saúde, os carotenoides apresentam elevada relevância industrial, sendo vastamente empregados na formulação de alimentos funcionais, suplementos e nutracêuticos. Sua aplicação também se estende as indústrias farmacêutica e cosmética, em virtude de suas propriedades antioxidantes e da capacidade de conferir coloração natural aos produtos, atendendo a crescente demanda por ingredientes de origem natural em substituição aos corantes sintéticos. (González Peña et al., 2023).

Atualmente, grande parte dos corantes sintéticos é obtida a partir de derivados do petróleo, os quais podem estar associados a potenciais efeitos tóxicos, enquanto os corantes naturais são provenientes de fontes vegetais, minerais e animais. Os corantes artificiais, também denominados corantes alimentares, são constituídos por diversos compostos químicos, em sua maioria oriundos de fontes possivelmente tóxicas, os quais podem estar associados ao desenvolvimento de doenças, distúrbios fisiológicos e alterações genéticas em humanos. Ademais, a presença de grupos funcionais específicos, como as aminas ($–NH_2$), tem sido apontada como um fator relevante na atividade carcinogênica desses compostos. Em contrapartida, a utilização de corantes naturais tem sido incentivado por evidências científicas

que apontam seus potenciais efeitos benéficos à saúde, especialmente no que se refere a grupos de pigmentos como antocianinas e carotenoides (Nabeshima et al., 2024).

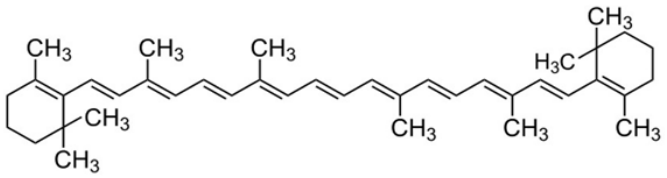
Nesse contexto, conforme Nabeshima et al., 2024, o surgimento do movimento *clean label* destaca-se como uma das principais tendências da última década, uma vez que impõe desafios significativos à indústria de alimentos no que se refere ao desenvolvimento de produtos com formulações mais naturais, redução de aditivos, menor densidade calórica, menor grau de processamento e adequada estabilidade durante o armazenamento. Sob a perspectiva do consumidor, tais produtos são frequentemente percebidos como mais saudáveis e relcionados a menores riscos à saúde. Entretanto, apesar das controvérsias e da ausência de uma definição consensual para o termo *clean label*, enfatiza-se que o processamento de alimentos, quando realizado por meio de tecnologias adequadas, exerce papel fundamental no controle de reações indesejáveis e na redução de contaminantes físicos, químicos e microbiológicos, além de contribuir para a extensão da vida útil e a preservação das propriedades nutricionais dos produtos.

Por outro lado, uma das principais limitações para a aplicação dos carotenoides é sua instabilidade química. As características estruturais desses compostos restringem sua versatilidade, tornando-os instáveis em condições normais, pois são suscetíveis a diversas reações de degradação, como oxidação, degradação térmica, fotoquímica e em meio ácido, o que demanda a aplicação de condições específicas e controladas para seu armazenamento e conservação (Aslam, 2021).

4.1.1 Fatores intrínsecos: estrutura química

Os carotenoides possuem estruturas químicas baseadas em longas cadeias de polienos conjugados, compostas por duplas ligações alternadas que lhes conferem tanto a cor característica quanto sua reatividade frente a condições ambientais adversas. Essa característica estrutural, embora essencial para a atividade antioxidante, também os torna altamente suscetíveis a processos de oxidação e isomerização (Sereti et al., 2025; Roy; Rhim, 2023).

Figura 1. Estrutura química básica dos carotenoides



Fonte: (Sereti et al. , 2025)

Os carotenoides constituem uma classe de compostos isoprenoides que podem ser classificados em duas categorias principais: carotenos e xantofilas. Os carotenos são hidrocarbonetos apolares formados por longas cadeias conjugadas, enquanto as xantofilas correspondem a seus derivados oxigenados, contendo grupos funcionais como hidroxilas, cetonas ou epóxidos. Entre os principais representantes dos carotenos destacam-se o licopeno e o β-caroteno, ao passo que a luteína e a astaxantina figuram como importantes exemplos de xantofilas. Além disso, esses compostos podem ser classificados de acordo com grau de ciclização em suas extremidades, sendo divididos em compostos cíclicos, como o β-caroteno e a astaxantina, e acíclicos, como o licopeno (Sereti et al., 2025).

Outro aspecto relevante dos carotenoides é sua tendência a isomerização cis–trans, decorrente das múltiplas ligações duplas conjugadas presentes em sua estrutura. De maneira geral, os isômeros trans são mais estáveis termodinamicamente e apresentam maior atividade pró-vitamina A. No entanto, durante o processamento térmico e a exposição à luz, parte desses compostos pode ser convertida em isômeros cis, que, embora menos estáveis, podem apresentar maior solubilidade e biodisponibilidade em determinadas condições (Meléndez-Martínez et al., 2022; Sumalla-Cano et al., 2024).

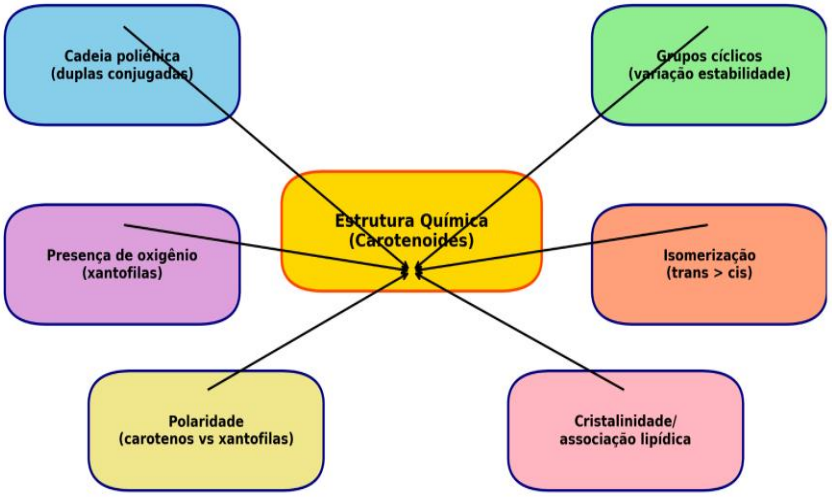
A matriz alimentar exerce papel crucial na estabilidade dos carotenoides, uma vez que compostos lipídicos, proteínas e fibras podem interagir com esses pigmentos, modulando sua degradação e bioacessibilidade. Estudos demonstram que a encapsulação em sistemas lipídicos, microemulsões ou nanopartículas oferece proteção significativa contra oxidação e perda de atividade, aumentando a estabilidade dos carotenoides em alimentos e suplementos (Zhang et al., 2023; Li et al., 2024).

Além disso, a presença de antioxidantes naturais, como tocoferóis (vitamina E), compostos fenólicos e vitamina C, pode atuar de forma sinérgica na preservação da estabilidade dos carotenoides em alimentos. Esse efeito protetor ocorre por meio da neutralização de radicais livres que, de outra forma, poderiam atacar as duplas ligações

conjugadas desses compostos (Meléndez-Martínez, 2023; Rafaqat et al., 2025; Guerra et al., 2025).

Na figura 2, o diagrama em interfaces mostra como a estrutura química influencia a susceptibilidade dos carotenoides a diferentes mecanismos de degradação intrínseca.

Figura 2. Fatores intrínsecos de degradação dos carotenoides e estrutura química



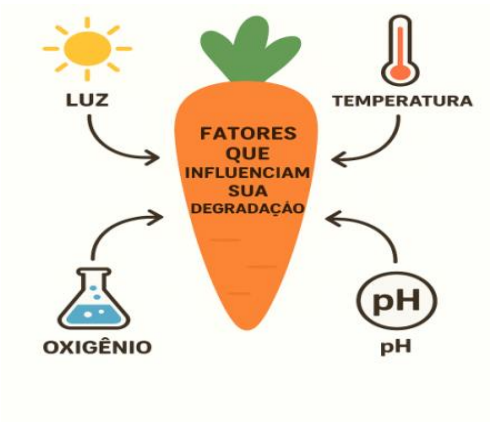
Fonte: autoria própria, (2026)

Portanto, os fatores intrínsecos relacionados a estrutura química, bem como as interações com a matriz alimentar, determinam o ponto de partida para a compreensão dos mecanismos de degradação dos carotenoides. Esse conhecimento é fundamental para o desenvolvimento de estratégias tecnológicas mais eficientes voltadas a sua preservação (Meléndez-Martínez, 2023; Sumalla-Cano et al., 2024).

4.1.2 Fatores extrínsecos: luz, oxigênio, temperatura, pH

A estabilidade dos carotenoides em alimentos está fortemente associada a fatores extrínsecos, como exposição à luz, oxigênio e variações de temperatura, os quais atuam de forma isolada ou sinérgica na promoção de processos de degradação, incluindo oxidação e isomerização. Tais alterações resultam na perda de cor e consequente redução do valor nutricional e funcional dos alimentos (Wijesekara et al., 2024).

Figura 3. Estabilidade de carotenoides em alimentos



Fonte: Autoria própria, (2026)

A luz, particularmente a radiação ultravioleta (UV)**,** é um fator crítico na degradação dos carotenoides, pois a absorção de energia excita elétrons nas duplas ligações conjugadas da cadeia polienica, favorecendo a formação de espécies reativas e o rompimento da estrutura molecular. Esse processo de fotoxidação promove a perda de cor, diminuição da atividade antioxidante e redução do valor nutricional de alimentos ricos em carotenoides, como sucos de frutas e hortaliças minimamente processadas. Estudos demonstram que a exposição à luz acelera significativamente a degradação desses pigmentos, ressaltando a necessidade de estratégias de proteção, como embalagens opacas e controle da intensidade luminosa durante o armazenamento e processamento (Atencio et al., 2022). Além disso, pesquisas sobre técnicas de secagem que envolvem luz solar revelam que condições de secagem com maior intensidade luminosa podem alterar significativamente o conteúdo de carotenoides e outros compostos bioativos em materiais vegetais, evidenciando que fatores ambientais relacionados à luz e calor exercem impacto direto sobre a retenção desses compostos em produtos alimentares (Guillén-Velázquez et al., 2025).

Já a temperatura exerce influência decisiva tanto nos processos industriais quanto domésticos. O aquecimento durante etapas como cocção, pasteurização e extrusão pode favorecer a degradação térmica dos carotenoides, especialmente na presença de oxigênio. Entretanto, estudos indicam que tratamentos térmicos moderados podem aumentar a biodisponibilidade desses compostos ao facilitar sua liberação da matriz alimentar, como observado em produtos à base de tomate (Meléndez-Martínez et al., 2022; González-Peña et al., 2023).

Wijesekara e Xu (2024) destacam que embora o pH não atue como um agente

degradante direto sobre a estrutura molecular dos carotenoides, ele exerce influência indireta ao modificar o meio reacional do sistema, afetando a atividade de espécies reativas de oxigênio, a disponibilidade de íons catalisadores e a estabilidade das emulsões e matrizes lipídicas. Em condições mais alcalinas, é possível observar maior susceptibilidade à oxidação e perda de cor, enquanto sistemas levemente ácidos tendem a apresentar maior preservação da integridade estrutural dos carotenoides, principalmente quando associados a barreiras físicas como encapsulação ou sistemas emulsificados, que reduzem a exposição ao oxigênio e à luz.

Outro aspecto relevante é a ação combinada dos fatores de degradação. Alimentos expostos simultaneamente à luz, oxigênio e temperaturas elevadas apresentam taxas significativamente maiores de degradação. Dessa forma, o controle integrado das condições de processamento e armazenamento é essencial para a preservação dos carotenoides em alimentos frescos e processados (Meléndez-Martínez, 2023; Sumalla-Cano et al., 2024).

Essas evidências reforçam a necessidade de adoção de tecnologias que considerem a interação entre luz, oxigênio e calor, com o objetivo de minimizar perdas de qualidade. Nesse sentido, o desenvolvimento de embalagens inteligentes, métodos de secagem inovadores e processos de conservação sob condições controladas representa uma estratégia promissora para aumentar a estabilidade desses compostos (González Peña et al., 2023; Guerra et al., 2025).

4.1.3 Importância dos carotenoides para a saúde

A biodisponibilidade dos carotenoides é um dos aspectos mais relevantes para compreender sua efetiva contribuição nutricional, pois nem sempre a presença desses compostos nos alimentos garante sua absorção e utilização pelo organismo. O processo depende de múltiplos fatores, incluindo a matriz alimentar, o tipo de carotenoide, a presença de lipídios na dieta e o estado fisiológico do consumidor (Sharma, Khare ; Rai, 2024; Shafik, Gul ; Nazik, 2024).

Segundo Geng et al. (2023) durante a digestão, os carotenoides são liberados da matriz alimentar e incorporados em micelas mistas formadas por ácidos biliares e lipídios da dieta, sendo essa etapa essencial para a absorção, uma vez que apenas carotenoides micelizados podem atravessar as membranas intestinais. A eficiência desse processo é influenciada pelo tipo de processamento ao qual o alimento foi submetido, pela presença de antioxidantes e pelo perfil lipídico da refeição (Sumalla-Cano et al., 2024).

Molteni, La Motta e Valoppi (2022) descrevem que, após a absorção intestinal, os

carotenoides são incorporados em quilomícrons e transportados via sistema linfático até a corrente sanguínea, sendo posteriormente direcionados ao fígado, onde podem ser armazenados, metabolizados ou redistribuídos para diferentes tecidos. Do mesmo modo, carotenoides com atividade pró-vitamina A, como o β-caroteno, podem ser convertidos em retinol, desempenhando papel fundamental na manutenção da saúde, especialmente em populações que apresentem deficiência de vitamina A.

Além da função pró-vitamínica, muitos carotenoides exercem efeitos biológicos independentes, incluindo atividade antioxidante, modulação da expressão gênica e fortalecimento do sistema imunológico. Estudos recentes demonstram sua associação com a melhora da saúde da pele, da visão e do sistema cardiovascular, assim como na prevenção de doenças crônicas, o que reforça o crescente interesse científico e industrial por esses compostos (Terao, 2023).

Contudo, a biodisponibilidade dos carotenoides pode variar conforme sua estrutura química, a matriz alimentar e os métodos de processamento ou formulação. Compostos como licopeno e luteína apresentam elevada capacidade antioxidante, mas baixa eficiência na conversão em vitamina A e biodisponibilidade reduzida. Em contrapartida, o β-caroteno principal provitamina A dietética é mais eficientemente convertido em vitamina A, embora sua absorção dependa da presença de lipídios na refeição e de fatores tecnológicos de processamento ou encapsulação (Sereti et al., 2025; Song et al., 2024).

No âmbito da saúde, revisões científicas recentes apontam que o consumo regular de carotenoides está associado a redução do risco de diversas doenças crônicas não transmissíveis, doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer e distúrbios metabólicos, principalmente devido a sua ação antioxidante e a modulação de processos inflamatórios e celulares (Bohn et al., 2021; Saini et al., 2022).

Dessa forma, a compreensão aprofundada da estabilidade, biodisponibilidade e mecanismos de degradação dos carotenoides é essencial para ampliar suas aplicações industriais e garantir que alimentos e produtos derivados mantenham suas propriedades tecnológicas e biológicas ao longo do processamento, armazenamento e consumo (Meléndez-Martínez et al., 2022; Nabeshima et al., 2024). Estratégias avançadas de formulações e tecnologias sustentáveis de extração podem potencializar os benefícios desses compostos e atender às demandas por produtos mais naturais e saudáveis (Sharma et al., 2025).

4.1.4 Considerações sobre a estabilidade durante armazenamento

A estabilidade dos carotenoides durante o armazenamento representa um desafio significativo para a indústria de alimentos, uma vez que esses compostos são altamente sensíveis a fatores ambientais e necessitam de condições controladas para minimizar perdas pós processamento. (Wijesekara; Xu, 2024; Meléndez-Martínez et al., 2023).

A temperatura durante o armazenamento exerce papel determinante na degradação dos carotenoides. Alimentos expostos a altas temperaturas ou a variações térmicas frequentes apresentam maior taxa de isomerização e oxidação, afetando não apenas a coloração, mas também a biodisponibilidade e o valor nutricional (Rodriguez-Amaya, 2023; Wijesekara; Xu, 2024**).** Pesquisas indicam que a refrigeração e o uso de congelamento controlado podem prolongar significativamente a estabilidade desses pigmentos.

Outro fator crítico é a exposição ao oxigênio. Durante o armazenamento, o contato com o oxigênio favorece reações oxidativas que ocasionam a degradação dos carotenoides, especialmente em alimentos ricos em lipídios ou que foram submetidos ao processamento térmico (González Peña et al., 2023; Roy; Rhim, 2023).

A luz, especificamente a radiação ultravioleta, promove reações fotoquímicas e oxidativas que comprometem a estabilidade e contribui consideravelmente para a degradação dos carotenoides,. Alimentos armazenados em embalagens transparentes ou expostos à luz direta apresentam alterações na cor e estabilidade dos pigmentos. Assim, o desenvolvimento de tecnologias de embalagem com barreira à radiação UV, bem como a incorporação de antioxidantes, tem sido amplamente recomendado para preservar a integridade dos carotenoides e prolongar a vida útil dos alimentos (Roy; Rhim, 2023; Singh et al., 2024).

Por fim, estratégias integradas que combinam controle de temperatura, barreiras ao oxigênio, proteção contra luz e otimização da matriz alimentar têm se mostrado mais eficazes para garantir a estabilidade durante armazenamento. A implementação dessas práticas é essencial para que alimentos enriquecidos com carotenoides mantenham suas propriedades funcionais até o consumo final (Clarke et al., 2025; Santos, Martelli ; Werle, 2025).

4.1.5 Estratégias tecnológicas de preservação

Sereti et al. (2025) apontam que, diante da elevada susceptibilidade dos carotenoides à degradação, o desenvolvimento de estratégias tecnológicas para sua preservação tem sido amplamente investigado. Técnicas como a microencapsulação, o uso de antioxidantes

naturais, embalagens inteligentes e os métodos de processamento suave, visam melhorar a estabilidade desses compostos sem comprometer sua biodisponibilidade.

A microencapsulação é uma das estratégias mais exploradas, pois envolve o recobrimento de carotenoides em matrizes protetoras, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, capazes de reduzir a exposição à luz, oxigênio e calor. Ensaios com emulsões e nanopartículas tem demonstrado significativa melhora na estabilidade durante o armazenamento, e no transporte gastrointestinal atua como barreira protetora contra condições adversas, favorecendo a liberação controlada e a absorção no organismo (Kulczyk-Małysa; Bogusławska-Wąs, 2025; Guerra et al., 2025).

Outra abordagem relevante para a preservação dos carotenoides envolve o uso de antioxidantes naturais incorporados às formulações alimentares. Compostos fenólicos, vitamina E e ácido ascórbico (vitamina C) atuam na redução da oxidação desses pigmentos por meio do sequestro de radicais livres e da proteção das duplas ligações conjugadas. Essa estratégia tem sido aplicada tanto em alimentos *in natura* quanto em produtos industrializados, favorecendo o aumento da vida de prateleira (Nabeshima et al., 2024).

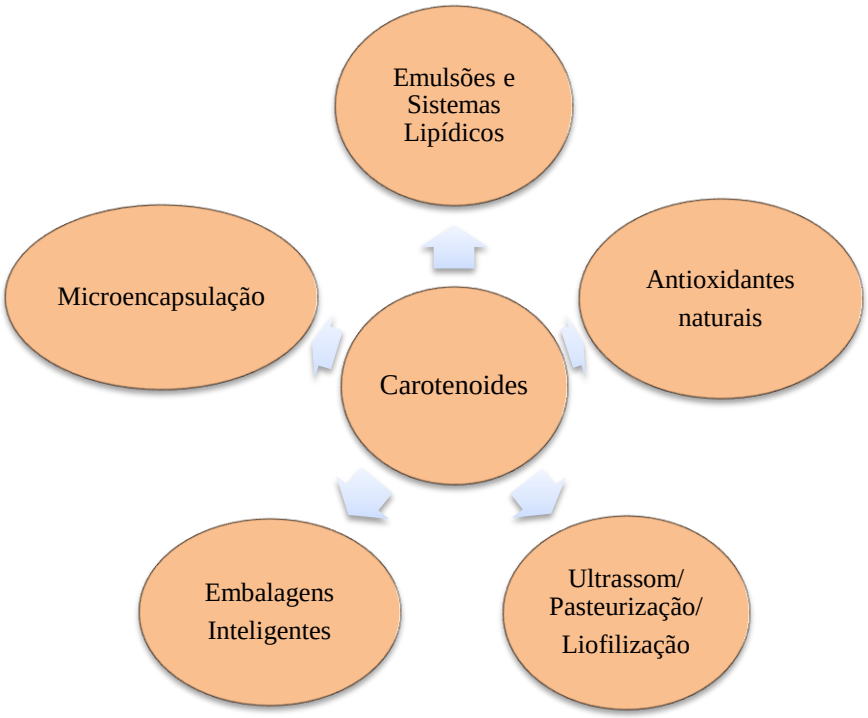
O desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes também tem ganhado destaque. Essas tecnologias incorporam agentes antioxidantes ou controladores de atmosfera que reduzem a exposição dos carotenoides ao oxigênio e à luz. Estudos recentes demonstram que embalagens com propriedades de barreira prolongam a estabilidade de sucos e derivados vegetais, mantendo a coloração e o valor nutricional por períodos estendidos (Coronas et al., 2025; Shriver et al., 2025).

O emprego de métodos de processamento suave, como pasteurização a baixas temperaturas, secagem por liofilização e uso de ultrassom, tem se mostrado eficaz na preservação de carotenoides. Essas técnicas reduzem os danos térmicos e oxidativos, mantendo as características bioativas. Análises com secagem solar controlada também indicam potencial vantagem para aplicações sustentáveis em pequenas cadeias produtivas (Guillén-Velázquez et al., 2025; Soni et al., 2025).

Em conjunto, essas estratégias oferecem soluções para a indústria de alimentos na busca por produtos mais estáveis e nutritivos. O desafio atual consiste em integrar distintas abordagens tecnológicas de forma complementar, resultando em sistemas multifuncionais que atendam as demandas de segurança alimentar, saúde pública e sustentabilidade (Meléndez-Martínez et al., 2022; Clarke et al., 2025).

Na Figura 4**,** pode ser percebida algumas das principais tecnologias utilizadas na preservação de carotenoides.

Figura 4. Tecnologias para preservação de carotenoides



Fonte: autoria própria, (2026)

4.1.6 Estudos recentes sobre preservação de carotenoides em alimentos.

Nos últimos anos, a preservação de carotenoides em alimentos tem sido bastante investigada, com foco na manutenção da cor, do valor nutricional e das propriedades funcionais durante o processamento e armazenamento. Nesse contexto, estudos recentes tem destacado o uso de tecnologias inovadoras, como microencapsulação e nanoencapsulação, que atuam na formação de sistemas carreadores capazes de proteger os carotenoides contra agentes degradantes, aumentando sua estabilidade e biodisponibilidade (Amador-Luna et al., 2025; González-Peña et al., 2023).

Um fator relevante na preservação de carotenoides está relacionado aos métodos de secagem aplicados aos alimentos. Análises envolvendo matérias-primas como pimentas, cenouras e vegetais folhosos indicam que técnicas como a liofilização e a secagem solar híbrida permitem maior retenção desses compostos, quando comparadas a métodos convencionais. Tais processos reduzem a ocorrência de reações de oxidação e isomerização,

contribuindo para a manutenção da atividade antioxidante e da qualidade nutricional dos alimentos (Souza et al., 2022; Guillén-Velázquez et al., 2025; Sanches et al., 2024).

Conjuntamente, a aplicação de tratamentos térmicos suaves tem sido investigada como alternativa para preservar compostos sensíveis ao calor. Técnicas como a pasteurização em baixas temperaturas, bem como o uso combinado de ultrassom com compostos antioxidantes, tem demonstrado eficiência na redução das perdas de carotenoides em produtos como sucos e purês de frutas. Essas abordagens permitem equilibrar a segurança microbiológica com a preservação de compostos bioativos, atendendo as exigências tecnológicas e nutricionais (Pinho et al., 2021; Gherasim et al., 2024).

Por fim, o monitoramento da estabilidade dos carotenoides por meio de técnicas não invasivas tem se consolidado como uma ferramenta importante na avaliação da eficácia das estratégias de preservação. Métodos baseados na análise de cor, espectrofotometria e quantificação de radicais livres permitem acompanhar, de forma eficiente, as alterações desses compostos ao longo do tempo, fornecendo subsídios para a otimização de processos industriais e para a melhoria da qualidade final dos produtos enriquecidos com carotenoides (Wal et al., 2023).

4.1.7 Perpectivas futuras e desafios na conservação de carotenoides

Entre os desafios futuros, destaca-se a necessidade de compreender melhor as interações entre carotenoides e a matriz alimentar. Estudos recentes indicam que a composição lipídica, a presença de proteínas e de complexos polissacarídicos podem influenciar tanto a proteção quanto a liberação desses pigmentos durante a digestão e o armazenamento**,** afetando sua biodisponibilidade e valor funcional nos alimentos (Zhang et al., 2023).

Uma estratégia relevante envolve a utilização de sistemas lipídicos e emulsões para melhorar a estabilidade e a biodisponibilidade dos carotenoides. A incorporação desses compostos em óleos vegetais microencapsulados e emulsões proteicas tem demonstrado proteção eficaz contra degradação térmica e oxidativa, além de favorecer sua absorção no organismo. Esses sistemas também ampliam as possibilidades de aplicação dos carotenoides em alimentos processados e funcionais (Kulczyk-Małysa; Bogusławska-Wąs, 2025; Guerra et al., 2025).

A aplicação de métodos sustentáveis de extração, como solventes verdes, ultrassom, micro-ondas ou CO_2 supercrítico, permite obter carotenoides de alta qualidade sem gerar

resíduos nocivos, alinhando-se às tendências de produção responsável. Revisões recentes destacam o uso de solventes benignos e técnicas alternativas como estratégias eficientes para recuperar pigmentos naturais com menor impacto ambiental, preservando a funcionalidade e a estabilidade dos carotenoides (Airouyuwa et al., 2024).

O desenvolvimento de alimentos funcionais e nutracêuticos enriquecidos com carotenoides também apresenta desafios regulatórios e tecnológicos. A padronização das concentrações, a estabilidade durante a prateleira e a monitorização da biodisponibilidade exigem protocolos rigorosos e técnicas analíticas avançadas (Clarke et al., 2025; Sumalla-Cano et al., 2024).

Pesquisas futuras devem focar em estratégias combinadas, como a sinergia entre microencapsulação, antioxidantes naturais e embalagens inteligentes, visando maximizar a estabilidade dos carotenoides, prolongar a vida útil dos produtos e garantir alimentos com alto valor nutricional (Wal et al., 2023; Shriver et al., 2025).

A Figura 5 apresenta algumas estratégias tecnológicas para preservação de carotenoides**,** ilustrando os desafios e soluções discutidos.

Figura 5. Estratégias tecnológicas para preservação de carotenoides



Fonte: autoria própria, (2026)

Por fim, o avanço do conhecimento sobre carotenoides pode subsidiar políticas alimentares e estratégias de saúde pública**,** uma vez que pode promover dietas equilibradas e auxiliar na prevenção de doenças crônicas. O investimento em pesquisa multidisciplinar,

envolvendo química, biologia, tecnologia de alimentos e nutrição, será essencial para consolidar os benefícios desses pigmentos na alimentação humana (Rafaqat et al., 2025; Meléndez-Martínez et al., 2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho evidenciou que os carotenoides são compostos bioativos que desempenham papel fundamental na promoção da saúde humana, em razão das suas propriedades antioxidantes, e sua relevante contribuição a qualidade sensorial e funcional dos alimentos. No entanto, sua instabilidade frente a fatores ambientais e tecnológicos afeta sua integridade e compromete sua eficácia. Nesse contexto, estratégias tecnológicas como microencapsulação, nanoencapsulação, controle de processamento e uso de embalagens inteligentes tem se mostrado eficazes na preservação desses compostos. Apesar dos avanços alcançados, ainda existem lacunas relacionadas a interação dos carotenoides com diferentes matrizes e a real biodisponibilidade pós consumo, indicando a necessidade de novas pesquisas que priorizem soluções integradas, sustentáveis e economicamente viáveis, capazes de conciliar eficiência tecnológica e responsabilidade ambiental. Assim, conclui-se que a estabilidade dos carotenoides representa um desafio complexo, pois demanda abordagens combinadas e multidisciplinares com a finalidade de preservar suas propriedades, e garantir sua aplicação eficiente em alimentos.

REFERÊNCIAS

AIROUYUWA, J. O.; SIVAPRAGASAM, N.; REDHA, A. A.; MAQSOOD, S. Sustainable green extraction of anthocyanins and carotenoids using deep eutectic solvents (DES): A review of recent developments. *Food Chemistry*, v. 448, p. 139061, 2024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139061. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814624007106. Acesso em: 02 abr. 2026.

AMADOR LUNA, V. M.; HERRERO, M.; IBÁÑEZ, E.; et al. Improving the long term stability of carotenoids from Dunaliella salina supercritical fluid extracts with liposomal encapsulation. *Food and Bioprocess Technology*, v. 18, p. 6520–6536, abr. 2025.

AMANDA, G. S.; FALAIFI, F. J. S.; MARDIYATI, N. L. Determination of carotenoid bioavailability from palm oil microencapsulation. *International Journal of Oil Palm*, v. 7, n. 2, p. 19–26, 2024. DOI: 10.35876/ijop.v7i2.123.

ARSHAD, M. T.; MAQSOOD, S.; IKRAM, A.; KHAN, A. A.; RAZA, A.; AHMAD, A.; GNEDÉKA, K. T. Encapsulation techniques of carotenoids and their multifunctional applications in food and health: an overview. *Food Science & Nutrition*, v. 13, n. 5, p. e70310, maio 2025. DOI: 10.1002/fsn3.70310.

ASLAM, S.; AHMAD, M.; RIAZ, M. Estabilidade dos carotenoides. In: *Carotenoides: estrutura e função no corpo humano*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 251–315.

ATENCIO, S.; PÉREZ SERRANO, S.; LÓPEZ GARCÍA, M.; MARTÍNEZ JIMÉNEZ, A. Heat and light stability of pumpkin-based carotenoids in a photosensitive food: A carotenoid-coloured beverage. *Foods*, v. 11, n. 3, p. 485, 2022. DOI: 10.3390/foods11030485. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8834637/. Acesso em: 27 mar. 2026.

BOHN, T.; BLOTTNER, S.; WALDBERGER, K.; et al. Carotenoids and human health: a review of current evidence with a focus on bioavailability, metabolism and disease prevention. *Foods*, v. 10, n. 10, p. E2248, 2021. DOI: 10.3390/foods10102248.

CLARKE, E. D.; DUNCAN, M. J.; BURROWS, T.; GÓMEZ-MARTÍN, M.; BRAIN, K.; STANFORD, J.; COLLINS, C. E. Associations between dietary carotenoid intake and plasma carotenoid concentrations and skin yellowness, a validation study. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, v. 38, n. 3, p. e70075, 2025. DOI: 10.1111/jhn.70075.

CORONAS, R.; BIANCO, A.; SANNA, A. M. L.; ZARA, G.; BUDRONI, M. Type I sourdough preservation strategies and the contribution of microbial biological resource centers to biodiversity protection: A narrative review. *Foods*, v. 14, n. 15, p. 2624, 2025. DOI: 10.3390/foods14152624.

CRUPI, P.; FAIENZA, M. F.; NAEEM, M. Y.; CORBO, F.; CLODOVEO, M. L.; MURAGLIA, M. Overview of the potential beneficial effects of carotenoids on consumer health and well-being. *Antioxidants*, v. 12, n. 5, p. 1069, 2023. DOI: 10.3390/antiox12051069.

GENG, T.; BAO, S.; SUN, X.; MA, D.; ZHANG, H.; GE, Q.; LIU, X.; MA, T. A clarification of concepts related to the digestion and absorption of carotenoids and a new standardized carotenoids bioavailability evaluation system. *Food Chemistry*, v. 400, p. 134060, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134060.

GHERASIM, C. E.; FOCŞAN, M.; CIONT, C.; BUNEA, A.; RUGINĂ, D.; PINTEA, A. Stability and bioaccessibility of carotenoids from sea buckthorn pomace encapsulated in alginate hydrogel beads. *Nutrients*, v. 16, n. 16, p. 2726, 2024. DOI: 10.3390/nu16162726.

GONZÁLEZ PEÑA, M. A.; ORTEGA REGULES, A. E.; ANAYA DE PARRODI, C. Chemistry, occurrence, properties, applications, and encapsulation of carotenoids — a review. *Plants*, v. 12, n. 2, p. 313, 2023. DOI: 10.3390/plants12020313.

GUERRA, D. J. R.; SILVA, C. W.; NASCIMENTO, A. L. A. A.; STRINGHETA, P. C.; MORAES, M. N. D.; LUCIA, C. M.; BARROS, F. A. R. Sustainable extraction of carotenoids from macauba pulp and press-cake: Use of ethyl acetate and ultrasound as optimization strategies. *Journal of Food Science*, v. 90, n. 2, p. e70030, 2025. DOI: 10.1111/1750-3841.70030.

GUILLÉN-VELÁZQUEZ, P.; DOMÍNGUEZ-NIÑO, A.; GARCÍA-VALLADARES, O.; VÁZQUEZ-MORALES, J. M.; LUNA-FLORES, M. Study of influence of mixed-mode solar drying on chlorophyll, ascorbic acid, carotenoid, and antioxidant activity of medicinal leaves of *Ageratina variety pichinchensis*. *Journal of Food Science*, v. 90, n. 7, p. e70415, 2025. DOI: 10.1111/1750-3841.70415.

KULCZYK-MAŁYSA, E.; BOGUSŁAWSKA-WĄS, E. Carotenoid yeasts and their application potential. *Foods*, v. 14, n. 11, p. 1866, 2025. DOI: 10.3390/foods14111866.

LI, Y.; ZHAO, Y.; ZHANG, H.; DING, Z.; HAN, J. The application of natural carotenoids in multiple fields and their encapsulation technology: a review. *Molecules*, v. 29, n. 5, p. 967, 2024. DOI: 10.3390/molecules29050967.

LV, L. L.; LI, L. Y.; PI, J. H. Carotenoid metabolomic and transcriptomic analyses provide insights into the flower color transition in *Lonicera macranthoides*. *BMC Biotechnology*, v. 25, n. 1, p. 69, 2025.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; ESQUIVEL, P.; RODRIGUEZ AMAYA, D. B. Comprehensive review on carotenoid composition: transformations during processing and storage of foods. *Food Research International*, v. 169, p. 112773, jul. 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112773.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; MANDIĆ, A. I.; BANTIS, F.; BÖHM, V.; BORGE, G. I. A.; BRNČIĆ, M.; O'BRIEN, N. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 62, n. 8, p. 1999–2049, 2022. DOI: 10.1080/10408398.2020.1867959.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, Antonio J.; STINCO, Carlo M.; MAPELLI-BRAUN, Claudia. Carotenoids: chemistry and health. Nutrients, Basel, v. 14, n. 4, p. 1–27, 2022. DOI: 10.3390/nu14040849.

MOLTENI, Camilla; LA MOTTA, Concettina; VALOPPI, Fabio. Improving the bioaccessibility and bioavailability of carotenoids by means of nanostructured delivery systems: a comprehensive review. *Antioxidants*, v. 11, n. 10, p. 1931, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox11101931

NABESHIMA, E. H.; TAVARES, P. E. R.; LEMOS, A. L. S. C.; MOURA, S. C. S. R. Emerging ingredients for clean label products and food safety. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 27, e2023160, 2024. DOI: 10.1590/1981-6723.016023.

N, SHARATH KUMAR; DAR, A. H.; SRIVASTAVA, S.; DASH, K. K.; PANDEY, V. K. Carotenoids based smart packaging: A comprehensive review. *Measurement: Food*, v. 15, p. 100190, set. 2024. DOI: 10.1016/j.meafoo.2024.100190.

OGASSAVARA, Dante; FERREIRA, Thais da Silva; TERTULIANO, Ivan Wallan; BARTHOLOMEU, Daniel; COSTA, Jeniffer Ferreira; MONTIEL, José Maria. Trilhas metodológicas para a revisão narrativa: orientações pragmáticas para sua elaboração. Ensino & Pesquisa, União da Vitória, v. 23, n. 3, p. 308–318, 2025. DOI: https://doi.org/10.33871/23594381.2025.23.3.10317.

PINHO, L. S.; RODRIGUES, C. E. D. C.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; CAMPANELLA, O. H. The incorporation of carotenoids on ready-to-eat foods studied through their stability during extrusion processing. *Food Engineering Reviews*, v. 13, n. 4, p. 902–915, 2021.

RAFAQAT, S.; SAQIB, H. M. J.; YASIR, M. H.; RASHEED, M. M.; FATIMA, M. N.; MALIK, F. A comprehensive review on the sources, stability, and health implications of bioactive compounds present in foods. *Indus Journal of Bioscience Research*, v. 3, n. 8, p. 112–118, 2025. DOI: 10.70749/ijbr.v3i8.2007.

RODRÍGUEZ-AMAYA, D. B.; ESQUIVEL, P.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Comprehensive update on carotenoid colorants from plants and microalgae: Challenges and advances from research laboratories to industry. *Foods*, v. 12, n. 22, p. 4080, 2023. DOI: 10.3390/foods12224080.

ROY, S.; RHIM, J. W.; et al. Recent advances in the carotenoids added to food packaging films: a review. Foods, v. 12, n. 21, p. 4011, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12214011

SAINI, R. K.; KEUM, Y. S. Carotenoids: Dietary sources, extraction, encapsulation, bioavailability and health benefits — a review of recent advancements. *Food Research International*, v. 156, p. 111246, 2022. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111246.

SANCHES AA, SIQUIEROLI AC, MACIEL GM, PRADO JRD, PEREIRA LM, SILVA CR, BARRADO LC. Selection of lettuce hybrids to generate productive carotenoid-biofortified populations. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,. 2024;29:e278163. DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v29n4e278163.

SANTOS LG, MARTELLI SM, WERLE LO. Carotenoid retention in mini-moranga pumpkin: the role of temperature in the kinetics and thermodynamic parameters of hot-air drying. Journal of Food Science and Technology. 2025;1-10.

SERETI, Fani; ALEXANDRI, Maria; PAPAPOSTOLOU, Harris; PAPADAKI, Aikaterini; KOPSAHELIS, Nikolaos. Recent progress in carotenoid encapsulation: effects on storage stability, bioaccessibility and bioavailability for advanced innovative food applications. *Food Research International*, v. 203, p. 115861, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115861

SINGH, Sukhvinder; GAUTAM, Neha; SINGH, Jaskaran. Advances in active and smart packaging for food applications: role in improving shelf life and stability of bioactive compounds. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 41, p. 101215, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101215

SOUZA CS, DAOOD HG, DUAH SA, VINOGRADOV S, PALOTÁS G, NEMÉNYI A, PÉK Z. Stability of carotenoids, carotenoid esters, tocopherols and capsaicinoids in new chili pepper hybrids during natural and thermal drying. ***LWT*.** 2022;163:113520. doi:10.1016/j.lwt.2022.113520.

SONI, N.; ROY, D.; PATEL, D. M.; DHANDHUKIA, P.; THAKKER, J. N. Study on electrospinning of polyvinyl alcohol nanofibers loaded with carotenoids for enhanced stability and its multifarious applications. *Discover Chemistry*, v. 2, n. 1, p. 57, 2025.

SONG, J.; ZHANG, Y.; WANG, H. et al. The influence of food matrix and processing methods on the bioaccessibility of lutein: a review. *Journal of Food Bioactives*, v. 26, p. 7–23, 2024. DOI: 10.31665/JFB.2024.18376.

SUMALLA-CANO S, EGUREN-GARCÍA I, LASARTE-GARCÍA Á, PROLA TA, MARTÍNEZ-DÍAZ R, ELÍO I. Carotenoids intake and cardiovascular prevention: a systematic review. ***Nutrients*.** 2024;16(22):3859. DOI:10.3390/nu16223859.

SHAHIDI F, DISSANAYAKA CS. Binding of carotenoids to proteins: a review. **Journal of Food Bioactives,.** 2023;24. DOI:10.31665/JFB.2023.18360.

SHAFIQ MA, GUL R, NAZIK G. Dietary carotenoids and their multifaceted roles in cancer prevention. **Journal of Health and Rehabilitation Research.** 2024;4(1):863-868. DOI:10.61919/jhrr.v4i1.508.

SHARMA I, KHARE N, RAI A. Carotenoids: sources, bioavailability and their role in human nutrition. In: **Dietary Carotenoids-Sources, Properties, and Role in Human Health,**. Intech Open; 2024. DOI:10.5772/intechopen.113012.

SHRIVER LH, DOLLAR JM, HOSSEINZADEH M, BUEHLER C, WIDEMAN L, LEERKES EM. Eating behaviors and skin carotenoids in pregnant women: the moderating influence of depressive symptoms and income. ***Nutrients*.** 2025;17(4):739. DOI:10.3390/nu17040739.

TERAO, Junji. Revisiting carotenoids as dietary antioxidants for human health and disease prevention. *Food & Function*, v. 14, n. 17, p. 7799–7824, 2023. DOI: https://doi.org/10.1039/D3FO02330C

WAL P, VIG H, KHARE R, WAL A, TONDON G, KISHORE A, KUMAR S. A detailed analysis of the carotenoids and their derivatives, including their multiple health advantages. **The Open Medicinal Chemistry Journal.** 2023;17(1). DOI:10.2174/18741045-v17-e230916-2023-8.

WIJESEKARA, T.; XU, B. Stability of natural food pigments and stabilization techniques. *Food Research International*, v. 179, p. 114011, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114011.

ZHANG, Y.; LI, R.; XU, Z.; FAN, H.; XU, X.; PAN, S.; LIU, F. Recent advances in the effects of food microstructure and matrix components on the bioaccessibility of carotenoids. *Trends in Food Science & Technology*, v. 143, p. 104301, 2023. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104301.

.