



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DANYELLY SILVA AMORIM

USO DA META-ANÁLISE COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO
PLASMA FRIO NOS PIGMENTOS DE SUCO DE CENOURA

USE OF META-ANALYSIS AS A TOOL IN EVALUATION OF THE EFFECT OF COLD
PLASMA ON NATURAL PIGMENTS OF CARROT JUICE

CAMPINAS

2022

DANYELLY SILVA AMORIM

USO DA META-ANÁLISE COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO
PLASMA FRIO NOS PIGMENTOS DE SUCO DE CENOURA

USE OF META-ANALYSIS AS A TOOL IN EVALUATION OF THE EFFECT OF COLD
PLASMA ON NATURAL PIGMENTS OF CARROT JUICE

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da
Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos
para a obtenção do título de Mestra em Ciência de Alimentos.

Dissertation presented to the Faculty of Food Engineering of the
University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the
degree of Master in Food Science.

Orientadora: Helena Teixeira Godoy

Este trabalho corresponde à versão final
da dissertação defendida pela aluna
Danyelly Silva Amorim, e orientada pela
profa. Dra Helena Teixeira Godoy

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Engenharia de Alimentos
Gardênia Garcia Benossi - CRB 8/8644

Am68 Amorim, Danyelly Silva, 1999-
Uso da meta-análise como ferramenta na avaliação do efeito do plasma frio nos pigmentos de suco de cenoura / Danyelly Silva Amorim. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Helena Teixeira Godoy.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Processos não-térmicos. 2. Clorofila. 3. Carotenóides. 4. Antocianinas. 5. Betalaínas. I. Godoy, Helena Teixeira, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Use of meta-analysis as a tool in evaluation of the effect of cold plasma on natural pigments of carrot juice

Palavras-chave em inglês:

Non-thermal processes

Chlorophyll

Carotenoids

Anthocyanins

Betalains

Área de concentração: Ciência de Alimentos

Titulação: Mestra em Ciência de Alimentos

Banca examinadora:

Helena Teixeira Godoy [Orientador]

Adriana Dillenburg Meinhart

Tayse Ferreira Ferreira da Silveira

Data de defesa: 12-04-2022

Programa de Pós-Graduação: Ciência de Alimentos

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-1778-0704>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7879387518668603>

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Helena Teixeira Godoy
Orientadora

Dra. Tayse Ferreira Ferreira da Silveira
Membro Titular

Profa. Dra. Adriana Dillenburg Meinhart
Membro Titular

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar em todos os momentos, ter me presenteado com pessoas que me ajudaram a ser forte. Pelos momentos felizes e pelos tristes, estes que contribuíram para a pessoa que sou hoje.

À Universidade Estadual de Campinas, especialmente ao Departamento de Ciência de Alimentos e Nutrição, pela oportunidade de desenvolver e concluir esse trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa - Código de Financiamento 001, Processo n.º: 88887.505981/2020-00.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra Helena Teixeira Godoy pelos ensinamentos repassados e por acreditar na realização desse sonho. Não posso deixar de agradecer a minha irmã Isabelly Silva Amorim que me acompanhou durante essa jornada. Sou extremamente grata aos ensinamentos e disponibilidade dos professores doutores, Fabiano André Narciso Fernandes, Renan Campos Chisté e Fabrício Batistin Zanatta. Vocês foram essenciais para construção do meu aprendizado.

À minha mãe Irismar por não ter desistido de mim e por dedicar todos os momentos da sua vida para o meu bem-estar e minha felicidade. Obrigada por sempre me incentivar nos meus estudos e por me amar incondicionalmente. Agradeço ao meu verdadeiro pai Luiz Carlos por me escolher como sua filha, obrigada por ser o melhor do pai do mundo. A toda minha família que sempre me ajudou, amo vocês.

EPÍGRAFE

Os sonhos não determinam o lugar em que você vai estar, mas produzem a força necessária
para tirá-lo do lugar em que está.

Augusto Cury

RESUMO

O plasma a frio tem recebido destaque como alternativa para a preservação de compostos bioativos termolábeis, a exemplo dos pigmentos naturais. O estudo fornece o resultado do levantamento das informações atualmente disponíveis acerca dos efeitos do plasma a frio sobre os pigmentos naturais, bem como as alterações ocasionadas pelo plasma nas moléculas de clorofilas, carotenoides, antocianinas e betalaínas. Além disso, a pesquisa expõe um estudo de meta-análise sobre o efeito do plasma frio no conteúdo de carotenoides e cor instrumental de suco de cenoura. Uma revisão sistemática foi realizada nas bases MEDLINE (PubMed), Web of Science, Science Direct e Scopus. Após as etapas de triagem e elegibilidade, a busca resultou em 977 estudos, dos quais quatro estudos foram incluídos na meta-análise. Os dados metanalisados com amostras de 2 a 3 kg de suco de cenoura demonstraram que o plasma frio, comparado ao controle (sem tratamento com o plasma), resultou em níveis significativamente maiores de carotenoides totais, com uma diferença média padronizada (SMD) de 4,45, para o licopeno um SMD de 3,63, para o β -caroteno um SMD de 0,86 e para luteína um SMD de 0,55. No que diz respeito a cor instrumental, o plasma promoveu redução significativa nos valores de cor instrumental. Diante da pesquisa realizada, conclui-se que o plasma pode romper as membranas celulares e promover danos aos locais de armazenamento de pigmentos, liberando os pigmentos e consequentemente aumentando seu conteúdo no espaço extracelular, e à medida que se aumenta o período de tratamento com o plasma estes pigmentos podem sofrer degradação oxidativa, o que explica os resultados de diminuição de pigmentos relatados na literatura.

Palavras-chave: processamento não térmico; clorofilas; carotenoides; antocianinas; betalaínas.

ABSTRACT

Cold plasma has been highlighted as an alternative for the preservation of thermolabile bioactive compounds, such as natural pigments. The study provides the result of the survey of currently available information about the effects of cold plasma on natural pigments, as well as the changes caused by plasma in the molecules of chlorophylls, carotenoids, anthocyanins and betalains. In addition, the research exposes a meta-analysis study on the effect of cold plasma on carotenoid content and instrumental color of carrot juice. A systematic review was performed in MEDLINE (PubMed), Web of Science, Science Direct and Scopus databases. After the screening and eligibility steps, the search resulted in 977 studies, of which four studies were included in the meta-analysis. Data meta-analyzed with 2-3 kg samples of carrot juice demonstrated that cold plasma, compared to control (no plasma treatment), resulted in significantly higher levels of total carotenoids, with a standardized mean difference (SMD) of 4.45, for lycopene an SMD of 3.63, for β -carotene an SMD of 0.86 and for lutein an SMD of 0.55. With regard to instrumental color, plasma promoted a significant reduction in instrumental color values. In view of the research carried out, it is concluded that plasma can break cell membranes and promote damage to pigment storage sites, releasing the pigments and consequently increasing their content in the extracellular space, and as the treatment period with the plasma these pigments can undergo oxidative degradation, which explains the results of pigment reduction reported in the literature.

Keywords: non-thermal processing; chlorophylls; carotenoids; anthocyanins; betalains.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
OBJETIVO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1: EFEITO DO PLASMA FRIO NOS PIGMENTOS NATURAIS: UMA REVISÃO	18
RESUMO	19
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 PLASMA FRIO.....	21
2.1 Fundamentos da tecnologia de plasma	22
2.2 Fontes de plasma	23
2.2.1 Descarga de barreira dielétrica	23
2.2.2 Descarga corona	25
2.2.3 Gliding arc.....	26
2.2.4 Jato de plasma	26
2.2.5 Glow plasma.....	27
3 EFEITOS DO PLASMA FRIO NOS PIGMENTOS NATURAIS	27
3.1 Clorofilas	28
3.2 Carotenoides	34
3.3 Antocianinas	40
3.4 Betalaínas	48
4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS	50
ACKNOWLEDGMENTS.....	50
REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO 2: EFEITO DO PLASMA FRIO NO TEOR DE CAROTENOIDES E COR INSTRUMENTAL DE SUCO DE CENOURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META- ANÁLISE	70
RESUMO	71
1 INTRODUÇÃO.....	71
2 METODOLOGIA.....	73
2.1 Estratégias de busca	73
2.2 Critérios de elegibilidade dos estudos.....	73
2.3 Extração de dados	73
2.4 Meta-análise	75
2.5 Viés de publicação.....	75

3. RESULTADOS	75
4. DISCUSSÃO	79
5. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	81
DISCUSSÃO GERAL.....	86
CONCLUSÃO GERAL	87
REFERÊNCIAS	88

INTRODUÇÃO GERAL

O aspecto visual dos alimentos desempenha um papel essencial na aceitabilidade do produto, sendo a cor o primeiro atributo percebido seguido da avaliação do sabor e aroma (López et al., 2018; Stinco et al., 2019). O atributo cor está relacionado com a presença de pigmentos naturais, cujos cromóforos contidos nas moléculas capturam energia luminosa e provocam a deslocalização do sistema eletrônico que resulta na cor característica dos alimentos (Albuquerque et al., 2020; Manzoor et al., 2021). Existem quatro grupos principais de pigmentos (clorofilas, carotenoides, antocianinas e betalaínas) que desempenham funções importantes nas plantas. Quando consumidos são responsáveis por efeitos benéficos à saúde, em grande parte devido possuírem um alto potencial antioxidante (Solovchenko et al., 2019).

A cenoura (*Daucus carota*) consiste em um dos vegetais de maior consumo no mundo. Esse vegetal possui diferentes cultivares que variam nas colorações brancas, laranjas, vermelhas e roxas, possuem importantes compostos bioativos que incluem os carotenoides, antocianinas e outros compostos fenólicos (Nagraj et al., 2020). Dentre os produtos do processamento da cenoura, o suco é um dos principais destinos da produção. É considerado uma bebida funcional, devido seu alto valor nutricional, e sua composição em carotenoides se dá em grande parte pelo α -caroteno, β -caroteno, luteína e licopeno, dentre estes alguns possuem atividade de provitamina A (Riganakos et al., 2017; Gouma et al., 2020a; Negri Rodríguez et al., 2021), por essa composição o suco de cenoura pode ser utilizado como estudo de caso para avaliar o efeito do plasma frio sobre os carotenoides.

O processamento do suco de cenoura ocorre com a lavagem e descascamento das cenouras, branqueamento, extração do suco, acidificação e processamento térmico (Gouma et al., 2020b). O tratamento térmico é considerado uma operação unitária importante para o processamento, no qual é comumente utilizada a pasteurização ou esterilização instantânea de ultra-alta temperatura (UHT), ambas as técnicas têm sua atuação pautada no processo de transferência de calor (Mercali et al., 2014; Peng et al., 2017; He et al., 2021). As altas temperaturas desses processamentos podem apresentar efeitos negativos na qualidade dos alimentos, com maior destaque para a degradação de componentes termolábeis, além do comprometimento das características sensoriais dos alimentos (Lopes et al., 2016).

Devido a esses fatores negativos e a busca pelos consumidores por alimentos com alto valor nutricional, houve um aumento evidente de pesquisas que abordam tecnologias inovadoras que possibilitem a preservação dos compostos bioativos e qualidade sensorial. Nesse contexto, surgem as tecnologias não térmicas assim denominadas por sua capacidade de promover a inativação de patógenos sem o uso de calor sendo, portanto, capazes de reter com

melhor desempenho os componentes da matriz alimentar ao comparado com tecnologias térmicas tradicionais (Bhattacharjee et al., 2019; He et al., 2021; Sharma & Singh, 2020). Atualmente alguns dos métodos não térmicos aplicados no processamento de alimentos incluem campos elétricos pulsados, alta pressão hidrostática, ultrassom, irradiação gama e pulsada ou luz ultravioleta contínua e aplicação de plasma frio (Mehta et al., 2019; de Souza et al., 2020; Asaithambi et al., 2021).

O plasma frio é definido como o quarto estado da matéria, além dos estados físicos já comumente conhecidos (líquidos, sólidos e gases) e ocorre pela ionização de um gás por eletricidade, calor e ondas eletromagnéticas como rádio ou micro-ondas (Whitehead, 2016; Ozen & Singh, 2020). O plasma frio opera em temperatura ambiente e tempos curtos de tratamento (de 30 s a 15 min) o que permite a perda mínima das características do alimento (Niemira, 2012; Chizoba Ekezie et al., 2017; Waghmare, 2021). Devido essas características, recentemente mais pesquisas têm sido realizadas para estudar como o plasma interage com os constituintes dos alimentos (Surowsky et al., 2016; Alves Filho et al., 2020; Campelo et al., 2020a, 2020b). Nesse contexto, a meta-análise pode ser realizada para combinar estudos e assim proporcionar melhoria na precisão, capacidade de responder perguntas que não foram respondidas em produtos primários, além de resolver controvérsias das repostas sobre o efeito do plasma (Deeks et al., 2019).

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, B. R., Pinela, J., Barros, L., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Anthocyanin-rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product. *Food Chemistry*, 316, 126364. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126364](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126364)
- Alves Filho, E. G., de Brito, E. S., & Rodrigues, S. (2020). Chapter 8 - Effects of cold plasma processing in food components. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 253–268). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00008-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00008-6)
- Asaithambi, N., Singh, S. K., & Singha, P. (2021). Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 303, 110567. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110567](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110567)
- Bhattacharjee, C., Saxena, V. K., & Dutta, S. (2019). Novel thermal and non-thermal processing of watermelon juice. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 234–243. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.015](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.015)
- Campelo, P. H., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020a). Modulation of aroma and flavor using dielectric barrier discharge plasma technology in a juice rich in terpenes and sesquiterpenes. *Lwt*, 130(March), 109644. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109644>
- Campelo, P. H., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020b). Modulation of aroma and flavor using glow discharge plasma technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62(March), 102363. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102363>
- Chizoba Ekezie, F. G., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007>
- de Souza, V. R., Popović, V., Bissonnette, S., Ros, I., Mats, L., Duizer, L., Warriner, K., & Koutchma, T. (2020). Quality changes in cold pressed juices after processing by high hydrostatic pressure, ultraviolet-c light and thermal treatment at commercial regimes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 64, 102398. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102398>
- Deeks, J., Higgins, J., & Altman, D. (2019). Chapter 10: Analysing data and undertaking meta-analyses. In & M. C. J. Higgins, J. Thomas, R. Churchill, J. Chandler (Ed.), *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.0*.

- <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-10>
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020a). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 64(December 2019), 102362. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362>
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020b). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362>
- He, C., Yang, N., Jin, Y., Wu, S., Pan, Y., Xu, X., & Jin, Z. (2021). Application of induced electric field for inner heating of kiwifruit juice and its analysis. *Journal of Food Engineering*, 306, 110609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110609>
- Lopes, R. P., Mota, M. J., Delgadillo, I., & Saraiva, J. A. (2016). Pasteurization: Effect on Sensory Quality and Nutrient Composition. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 246–263). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00524-9>
- López, C. J., Caleja, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits. *Food Chemistry*, 264, 81–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.103>
- Manzoor, M., Singh, J., Gani, A., & Noor, N. (2021). Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, 362, 130141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130141>
- Mehta, D., Sharma, N., Bansal, V., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2019). Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52(May 2018), 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.015>
- Mercali, G. D., Schwartz, S., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., & Sastry, S. (2014). Effect of the Electric Field Frequency on Ascorbic Acid Degradation during Thermal Treatment by Ohmic Heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(25), 5865–5870. <https://doi.org/10.1021/jf500203u>
- Nagraj, G. S., Jaiswal, S., Harper, N., & Jaiswal, A. K. (2020). Chapter 20 - Carrot. In A. K.

- Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 323–337). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9>
- Negri Rodríguez, L. M., Arias, R., Soteras, T., Sancho, A., Pesquero, N., Rossetti, L., Tacca, H., Aimaretti, N., Rojas Cervantes, M. L., & Szerman, N. (2021). Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment. *LWT*, 145, 111255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>
- Niemira, B. A. (2012). Cold Plasma Decontamination of Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 125–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Ozen, E., & Singh, R. K. (2020). Atmospheric cold plasma treatment of fruit juices: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.020>
- Peng, J., Tang, J., Barrett, D. M., Sablani, S. S., Anderson, N., & Powers, J. R. (2017). Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 2970–2995. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1082126>
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., & Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42(June), 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.015>
- Sharma, S., & Singh, R. k. (2020). Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*, 102(May), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013>
- Solovchenko, A., Yahia, E. M., & Chen, C. (2019). Chapter 11 - Pigments. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 225–252). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00011-7>
- Stinco, C. M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C. A., Inácio, R. S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Saraiva, J. A., & Meléndez-Martínez, A. J. (2019). Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry*, 299, 125112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125112>
- Surowsky, B., Bußler, S., & Schlüter, O. K. (2016). Chapter 7 - Cold Plasma Interactions With Food Constituents in Liquid and Solid Food Matrices. In N. N. Misra, O. Schlüter, & P. J. Cullen (Eds.), *Cold Plasma in Food and Agriculture* (pp. 179–203). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00007-X>

Waghmare, R. (2021). Cold plasma technology for fruit based beverages: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 60–69.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.018>

Whitehead, J. C. (2016). The Chemistry of Cold Plasma. In *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00003-2>

OBJETIVO GERAL

Este estudo teve por objetivo compilar as informações atualmente disponíveis para o efeito do plasma nas moléculas de pigmentos naturais. Além disso, realizar uma revisão sistemática com meta-análise de estudos que avaliaram o efeito do plasma frio nos carotenoides e cor instrumental, utilizando o suco de cenoura como estudo de caso.

CAPÍTULO 1: EFEITO DO PLASMA FRIO NOS PIGMENTOS NATURAIS: UMA REVISÃO

Danyelly Silva Amorim^a; Isabelly Silva Amorim^a; Renan Campos Chisté^b; Fabiano André
Narciso Fernandes^c; Helena Teixeira Godoy^a

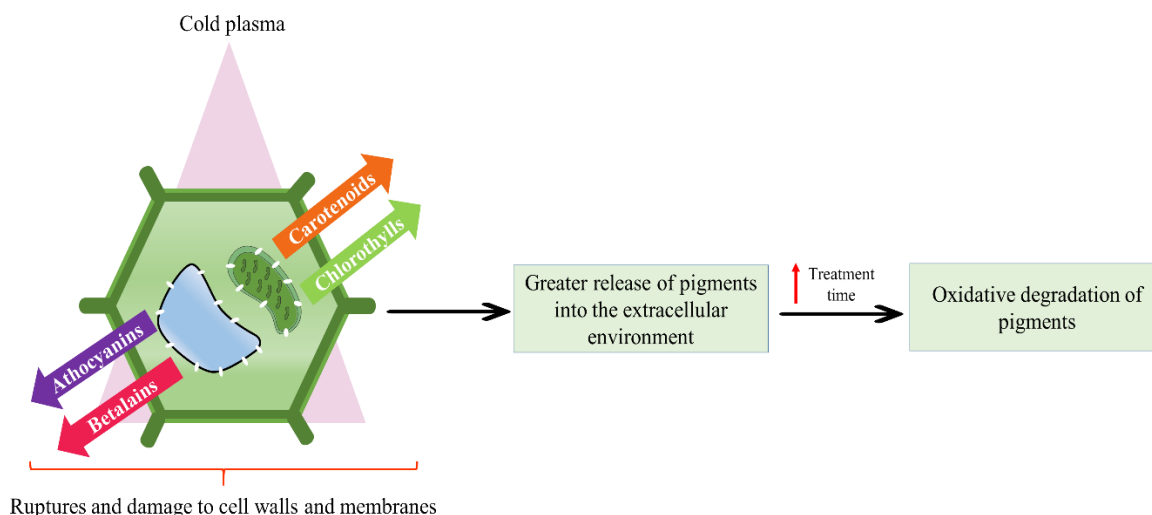
^aDepartamento de Ciência de Alimentos e Nutrição, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 13083-862, Campinas, São Paulo, Brasil

^bFaculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Instituto de Tecnologia (ITEC), Universidade Federal do Pará (UFPA), 66075-110, Belém, Pará, Brazil.

^cUniversidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Química, Campus do Pici, Bloco 709, 60440-900, Fortaleza – Ceará, Brasil.

E-mail: danyellyamorimalimentos@gmail.com - ORCID - 0000-0003-1778-0704.

RESUMO GRÁFICO



RESUMO

O plasma a frio é conhecido como o quarto estado da matéria e, dentre as técnicas não-térmicas de processamento de alimentos, ela tem recebido destaque como alternativa para a preservação de compostos bioativos termolábeis, a exemplo dos pigmentos naturais. Nesta revisão, fornecemos um levantamento das informações atualmente disponíveis acerca dos efeitos do plasma a frio sobre os pigmentos naturais, bem como as alterações ocasionadas pelo plasma nas moléculas de clorofilas, carotenoides, antocianinas e betalaínas. Com resultado da análise da literatura, nota-se que o plasma pode quebrar as membranas celulares e promover danos aos locais de armazenamento de pigmentos (cloroplasto e vacúolo) assim liberando os pigmentos e consequentemente aumentando seu conteúdo no espaço extracelular. No entanto, à medida que se aumenta o período de tratamento com o plasma estes pigmentos podem sofrer degradação oxidativa pelas espécies reativas contidas no plasma.

Palavras-chave: processamento não térmico; clorofilas; carotenoides; antocianinas; betalaínas.

1 INTRODUÇÃO

A cor dos alimentos desempenha papel essencial na aceitabilidade de qualquer produto e pode influenciar de forma positiva na preferência por determinado alimento (López et al., 2018; Stinco et al., 2019). A coloração do alimento é uma característica visual que está relacionada aos cromóforos contidos nas moléculas dos pigmentos naturais, que ao capturarem energia luminosa, provocam a deslocalização do sistema eletrônico que resulta na cor característica dos alimentos (Albuquerque et al., 2020; Manzoor et al., 2021). Além de serem

responsáveis pelas diversas tonalidades nos alimentos, podem proporcionar benefícios à saúde por exibirem potentes eficácias biológicas (Rodriguez-Amaya, 2016; Shweta Sharma et al., 2021).

A associação entre o hábito alimentar saudável e a diminuição do risco de desenvolvimento de diversas doenças crônico-degenerativas tem sido atribuída à ingestão de frutas e vegetais, que são fontes de compostos bioativos com potencial benéfico à saúde, a exemplo dos pigmentos naturais como as clorofilas, carotenoides, antocianinas e betalaínas, dentre outros fatores (Wang Lu et al., 2021; Manzoor et al., 2021; Pires et al., 2021). Além do potencial benéfico ao sistema fisiológico, esses compostos bioativos presentes também possuem potencial tecnológico, portanto, podem ser incorporados em formulações alimentícias como corantes naturais e também como antioxidantes naturais para inibir ou retardar as reações de oxidação responsáveis pela diminuição da qualidade e da estabilidade durante a vida-de-prateleira de alimentos.

Novas tecnologias de processamento de alimentos vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos devido à crescente busca dos consumidores por produtos alimentícios com elevados teores de compostos saudáveis, com qualidade e segurança microbiológica assegurada. Para as tecnologias térmicas, o foco das pesquisas é a geração interna de calor no alimento durante um período de tempo suficiente para a eliminação de microrganismos patógenos e inibição da atividade enzimática, preservando os atributos desejáveis dos alimentos. Em contrapartida, as técnicas não-térmicas são conhecidas pela ausência de calor no processamento, de forma a reduzir os efeitos térmicos indesejáveis, como alterações sensoriais (cor, sabor e textura) e também na qualidade nutricional (Bermudez-Aguirre, 2020; Sharma & Singh, 2020). Neste contexto, a substituição do processamento térmico pelo não-térmico tem recebido bastante destaque devido às características termolábeis de muitos compostos bioativos, a exemplo dos pigmentos naturais (F. Li et al., 2017; Putnik et al., 2019). Atualmente, alguns dos métodos não-térmicos incluem campos elétricos pulsados, alta pressão hidrostática, ultrassom, irradiação gama e ultravioleta (pulsada ou contínua), e desde a última década, a aplicação do plasma a frio (Mehta et al., 2019; De Souza et al., 2020; López-Gámez et al., 2021; Velderrain-Rodríguez et al., 2021; de Araújo et al., 2021; Viacava et al., 2021).

Dentre as tecnologias não térmicas, o plasma é conhecido como o quarto estado da matéria que consiste em íons positivos e negativos, íons energéticos de radiação, átomos, elétrons, espécies reativas contendo espécies reativas de oxigênio (ROS), espécies reativas de nitrogênio (RNS), espécies e fótons ultravioletas gerados por descarga elétrica, e todo esse conjunto permite a desinfecção dos alimentos sob temperatura ambiente e tempos curtos de

tratamento (de 30 s a 15 min) (Niemira, 2012; F. G. Chizoba Ekezie et al., 2017; Waghmare, 2021). Por ser uma tecnologia recente para o tratamento de alimentos, aplicada nos últimos 10 anos, as pesquisas científicas têm buscado compreender como o plasma a frio atua na estabilidade e no perfil de compostos bioativos de diversas matrizes alimentícias (Fernandes et al., 2019; Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019; Dzimitrowicz et al., 2021; de Castro et al., 2020; Filatova et al., 2020; Gan et al., 2021; Hosseini et al., 2020; Y. Ji et al., 2020; Wu et al., 2020).

Assim que o plasma frio passou a ser aplicado em alimentos, os pesquisadores afirmaram que ele poderia manter a qualidade nutricional e sensorial dos alimentos; no entanto, essa afirmação não se manteve à medida que estudos mais aprofundados foram aplicados, devido a alterações no conteúdo de compostos voláteis, degradação de compostos bioativos e oxidação de proteínas, carboidratos e lipídios (Surowsky et al., 2016; Alves Filho et al., 2020; Campelo et al., 2020a, 2020b). Referente aos pigmentos naturais, os efeitos do plasma a frio na estabilidade química desses compostos encontram-se pouco aprofundadas, devido principalmente as diferenças na matriz alimentar, fonte de plasma e os parâmetros operacionais como a voltagem, configuração dos eletrodos, distância entre eletrodos, gás utilizado, fluxo de gás, frequência de excitação.

Nos últimos anos, alguns artigos de revisão sobre o efeito do plasma frio foram publicados, com o enfoque do efeito do plasma frio e tecnologias não térmicas nos parâmetros físico-químicos, funcionais, bioativos, texturais, sensoriais e descontaminação microbiana (Bourke et al., 2018; Chen et al., 2020; López-Gámez et al., 2021; Nowacka et al., 2021; Sruthi et al., 2022). No entanto, uma revisão mais detalhada sobre os efeitos químicos do plasma frio em pigmentos naturais faz-se necessário na literatura disponível.

Portanto, através desta revisão as informações atualmente disponíveis para o efeito das espécies reativas do plasma nas moléculas de pigmentos naturais foram discutidas visando o estímulo para futuras investigações, destacando as diferentes conclusões propostas para este campo de estudo. Dessa forma, as informações ressaltadas podem ser aplicadas em abordagens acerca do estudo das vias químicas das reações induzidas pelo plasma nas moléculas de pigmentos naturais de importância alimentícia, nomeadamente as clorofilas, carotenoides, antocianinas e betalaínas.

2 PLASMA FRIO

2.1 Fundamentos da tecnologia de plasma

O plasma a frio foi primeiramente reportado e aplicado por Weimer Siemens em 1857 para a produção de ozônio (Siemens, 1857). É definido na literatura como o quarto estado da matéria, além dos estados físicos já comumente conhecidos (líquidos, sólidos e gases). O plasma consiste em um gás total ou parcialmente ionizado; portanto, espera-se que nele estejam presentes várias espécies carregadas e neutras, em especial os elétrons, cujo comportamento de colisão permitem as condições que caracterizam a química do plasma (Whitehead, 2016; Ozen & Singh, 2020). O processo de colisão ocorre devido à alta densidade dos elétrons formados no plasma, que ao sofrerem aceleração em um campo elétrico através de ambiente gasoso provocam inúmeras colisões com átomos e moléculas que compõem o gás (Whitehead, 2016).

A composição do plasma gerado, no que diz respeito as espécies químicas formadas, depende de variáveis operacionais que podem ser controladas como o gás utilizado, umidade do gás, potência e tensão aplicada no equipamento, fase circundante e do modo de exposição (direto ou remoto) (Misra et al., 2011; Moutiq et al., 2020; Maniglia et al., 2021). Para a formação do plasma, diversos gases e combinações podem ser aplicadas, a citar o gás hélio, argônio, nitrogênio e ar (sintético ou atmosférico) (Mir et al., 2016; Miraei Ashtiani et al., 2020), que são responsáveis pela formação de uma mistura complexa de espécies reativas (Hertwig et al., 2018). Essas espécies são exemplificadas por espécies reativas de oxigênio (ROS), espécies reativas de nitrogênio (RNS), por partículas carregadas (OH^- , H_2O^+ , elétrons), moléculas excitadas (O_2 , N_2), fótons UV e íons positivos e negativos. Os ROS são compostos por ânion superóxido, oxigênio atômico, oxigênio singlete, radical hidroxila, ozônio, enquanto que os RNS incluem ânion superóxido, oxigênio atômico, oxigênio singlete, radical hidroxila, ozônio e RNS, incluindo nitrogênio, nitrogênio atômico, óxido nítrico, fótons UV, elétrons livres e íons positivos e negativos (Scholtz et al., 2015; Liao et al., 2019; Sruthi et al., 2022).

Dentre estes gases, o hélio é o mais rapidamente ionizado o que reduz o consumo elétrico e voltagem necessária ao funcionamento do sistema, tendo como resultado a redução do custo do fornecimento de energia. Portanto, este gás de alimentação é recomendado para sistemas experimentais, entretanto seu uso provoca um encarecimento da operação em escala industrial ao comparado com sistemas que utilizam ar ou misturas de gases que são menos onerosos (Niemira, 2012; Alves Filho et al., 2020).

O plasma pode ser classificado conforme os diferentes modos de produção em plasma térmico e não-térmico (plasma a frio). No plasma térmico, há um equilíbrio térmico entre elétrons e íons devido à temperatura uniforme do gás para todos os constituintes. O plasma frio, por sua vez, é produzido em baixos níveis de pressão (geralmente sob vácuo ou pressão

atmosférica) e potência. Diferente do plasma térmico; o plasma frio apresenta um desequilíbrio termodinâmico observado pela notável diferença de temperatura entre os íons e elétrons (Scholtz et al., 2015; F. G. Chizoba Ekezie et al., 2017).

Em geral, a aplicação de plasma frio envolve a produção de elétrons energéticos por excitação elétrica. Estes elétrons transferem energia aos átomos do gás neutro em processos que geram espécies quimicamente reativas. Estas espécies químicas envolvidas no processo são consideradas os principais agentes do plasma (Turner, 2016).

O fato de o plasma frio operar a temperatura ambiente e usar tempos curtos de tratamento aguçou o interesse dos pesquisadores acerca das aplicações em alimentos com componentes sensíveis ao calor (F.-G. Chizoba Ekezie et al., 2017; Waghmare, 2021). No entanto, pouco se sabe sobre como as espécies inerentes do plasma atuam nas estabilidades de compostos bioativos, cenário esse que permite ainda muitos estudos e indagações. Algumas observações na literatura sugerem que o plasma permite melhor extração dos componentes responsáveis pela coloração de alimentos (Bursac Kovačević, Putnik, et al., 2016; Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019), entretanto ainda é necessário delimitar quais condições permitem essa resposta e em que ponto as espécies reativas do plasma podem degradar os compostos bioativos.

2.2 Fontes de plasma

O plasma frio pode ser gerado por diferentes tipos de energia (eletricidade, calor e ondas eletromagnéticas como rádio e micro-ondas) e configurações de equipamentos. As descargas elétricas mais utilizadas na obtenção do plasma são: descarga de barreira dielétrica, descarga corona, *gliding arc*, jato de plasma e glow plasma (Tappi et al., 2016; Dobeic, 2018; Shruti Sharma & Singh, 2020). Estas tecnologias consistem em equipamentos de baixa complexidade, associados a menores consumos de energia e produção de resíduos tóxicos (F. G. Chizoba Ekezie et al., 2017; Farber et al., 2019; Y. Zhu et al., 2020).

2.2.1 Descarga de barreira dielétrica

Embora a primeira descarga de gás tenha sido criada em 1705 por Francis Hauksbee, apenas em 1857 o primeiro dispositivo de descarga de barreira dielétrica foi desenvolvido (S. Li et al., 2020). Este equipamento possui dois eletrodos separados por um material dielétrico como o quartzo, vidro, material cerâmico ou polímero. Esta barreira dielétrica atua como inibidor do transporte de carga, evitando assim a formação de um arco voltaico entre os dois eletrodos, e devido a essa inibição, o plasma é gerado a partir da ionização

do gás entre os eletrodos (Ulrich Kogelschatz, 2003; Stegmaier et al., 2007; Scholtz et al., 2015; Misra et al., 2019).

Durante o funcionamento do equipamento, são distribuídos *streamers*, que consistem em um grande número de filamentos de corrente independentes ou microdescargas (U Kogelschatz et al., 1997; H. Zhang et al., 2017) na superfície do eletrodo que garante o tratamento homogêneo da amostra. O *streamer* ocorre por meio do acúmulo de elétrons na camada dielétrica (P. Lu et al., 2016). Em alguns casos a descarga de barreira dielétrica é também denominada de descarga silenciosa, por conta da ausência de faíscas (A. Fridman et al., 2007).

Dentre as diferentes técnicas para obtenção do plasma, a descarga de barreira dielétrica é a mais utilizada por apresentar inúmeras vantagens: equipamentos de configuração simples, técnica que suporta ampliação para a escala industrial, permitir a estabilidade, produtividade e fontes de alimentação de alta eficiência (Ulrich Kogelschatz, 2003; Ansari et al., 2021). A descarga de barreira dielétrica pode ser apresentada em duas configurações gerais, a conformidade em painel e a circular, e para ambas existem diferentes apresentações que evidencia a flexibilidade e adaptação da técnica (Figura 1-IV) (P. Lu et al., 2016).

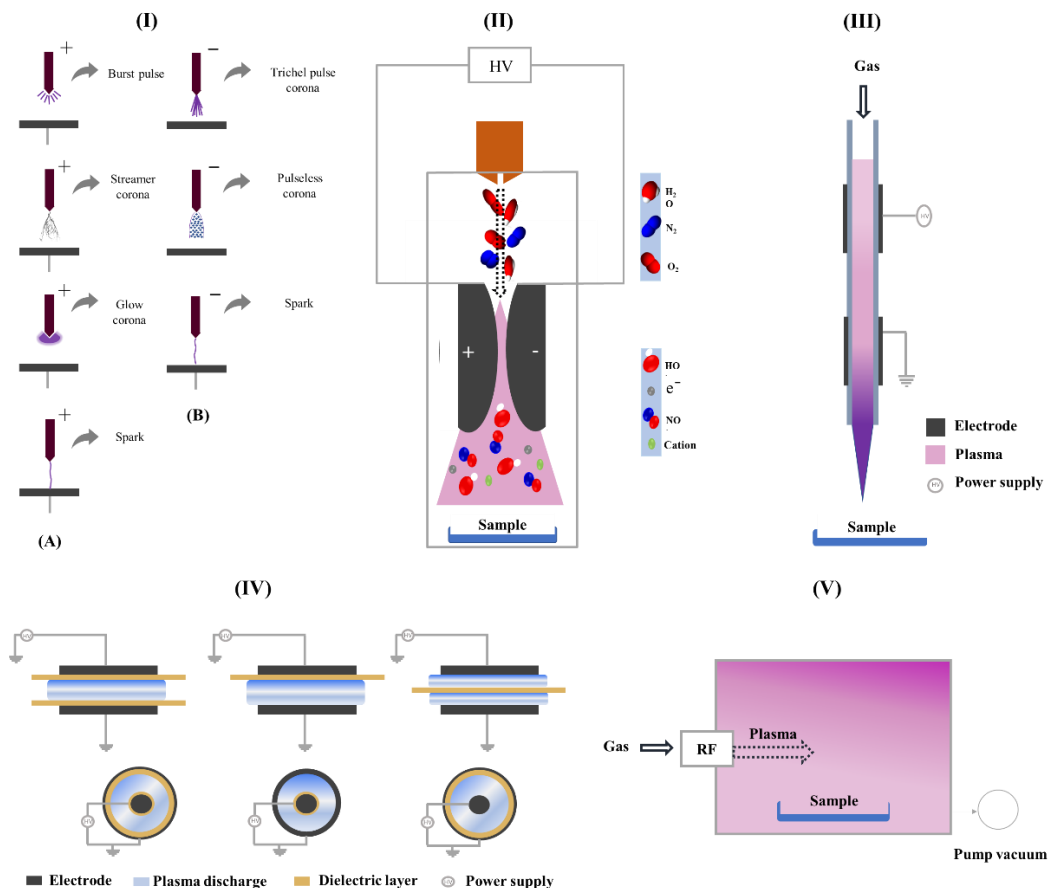


Figura 1 – Fontes de plasma frio: I - Descarga corona: (A) descarga corona positiva, e (B) descarga corona negativa. II - Gliding arc. III- Jato de plasma. IV- Descarga de barreira dielétrica. V - Glow plasma

2.2.2 Descarga corona

A descarga corona é comumente encontrada na natureza em fenômenos como raios, e também em linhas de transmissão de alta tensão. Na descarga corona pode-se observar a formação de um alo de coloração lilás acompanhado de um ruído crepitante e formação de ozônio (Jose et al., 2019; Wang et al., 2020).

A descarga de corona é gerada por eletrodos pontiagudos e finos que suportam alta tensão imposta. O nome “corona” foi dado devido ao formato da luminância gerada pelos eletrodos que se apresenta como uma coroa. Estes eletrodos ao serem sujeitos a alta tensão favorecem a ionização de moléculas presentes no ar próximo de suas pontas e bordas, induzindo a geração das descargas de corona (Scholtz et al., 2015; E. Moreau et al., 2018; Arcanjo et al., 2021).

A concentração da descarga próxima ao eletrodo ocorre devido a não conformidade do campo elétrico. Esta descarga pode ser ativada por corrente contínua, alternada ou pulsada, em aplicações tradicionais, em geral, é utilizado fontes de alimentação de corrente constante simples ou corrente alternada de baixa frequência (P. Lu et al., 2016). A principal desvantagem da descarga corona consiste no fato de a mesma tratar uma fina superfície, devido ao volume do plasma formado ser pequeno (Tendero et al., 2006).

O mecanismo que ampara a ionização do meio em uma descarga corona está sujeito a polaridade do eletrodo, no qual se encontra o alto campo elétrico. Portanto, caso o alto campo elétrico estiver localizado nas proximidades do cátodo, tem-se a formação de um brilho filamentar localizado, processo denominado de corona negativa. Se o alto campo elétrico estiver concentrado na região do ânodo é formada a descarga chamada de corona positiva, cujo brilho se apresenta mais homogêneo (A. Fridman et al., 2007).

A descarga corona positiva e negativa ocorrem por quatro (burst pulse, streamer corona, glow corona, spark) e três estágios (trichel pulse corona, pulseless corona, spark) respectivamente (Figura 1-I). A propagação da corona positiva é determinada pela fotoionização, por outro lado, a tensão inicial da descarga depende da largura da lacuna e raio do ponto de descarga. Para a corona negativa tem-se a formação do plasma quando a voltagem aplicada excede a voltagem inicial da descarga corona (Chang; Lawless; Yamamoto, 1991; Adelodun, 2020).

2.2.3 Gliding arc

Os plasmas térmicos e não térmicos não são capazes de fornecer simultaneamente elevadas densidades de elétrons e desequilíbrio termodinâmico, além de altas temperaturas de elétrons. Quando analisadas aplicações químicas do plasma é observado a necessidade de altos níveis de potência e desequilíbrio, variáveis que atuam no aumento de produtividade e seletividade dos processos químicos, respectivamente. Em vista dessas funções é interessante que haja a combinação das vantagens das descargas térmicas e não térmicas. Neste cenário, o gliding arc é um intermediário ideal, devido possuir maior densidade e potência do que outras formas de plasma não térmico, enquanto que apresenta maior seletividade e temperatura de elétrons, ao comparado com descargas térmicas (Alexander Fridman et al., 1999, 2008; Saleem et al., 2020; J. Sun et al., 2020).

O princípio do gliding arc foi idealizado e patenteado por Lesueur; Czernichowski e Chapelle (1988), no entanto, o desenvolvimento da técnica foi realizado por Czernichowski e colaboradores (Czernichowski et al., 2000; Czernichowski; Czernichowski, 2002). O gliding arc normalmente produz plasma térmico, sendo possível também a obtenção do plasma não térmico em algumas condições específicas. A descarga gliding arc ocorre entre dois eletrodos de alta tensão que são dispostos nas laterais de um bico atomizador. O arco formado na área mais estreita entre os eletrodos é empurrado pelo gás injetado no sistema até que entre em colapso, em sequência um novo arco é formado e o ciclo recomeça, (Figura 1-II) (Scholtz et al., 2015; Tiya-Djowe et al., 2019; Y. H. Jiang et al., 2020).

O plasma gliding arc atua a pressão atmosférica com potência que em condições de não equilíbrio apresenta 40kW por par de eletrodos (Alexander Fridman et al., 1999). Diferente da descarga corona o plasma gliding arc permite a utilização de altas potências, portanto as espécies ativas são produzidas em maiores quantidades (M. Moreau et al., 2008). A desvantagem do gliding arc consiste no tempo limitado de propagação e volume (C. Zhang et al., 2012; Larsson et al., 2014).

2.2.4 Jato de plasma

O jato de plasma pode ser aplicado a pressão atmosférica cujas espécies de gases podem interferir nas características químicas e físicas da amostra ao qual o plasma é incidido. A técnica tem ganhado destaque sendo aplicada em diversas áreas, a citar: inativação enzimática (Amanpour et al., 2019; Han et al., 2019), esterilização (Gan et al., 2021; H. Zhu et al., 2021), fins medicinais (Lotfy, 2017), dentre outras.

O jato de plasma ocorre por uma descarga que permeia um tubo dielétrico que é expelido por um fluxo de gás (Figura 1-III). A energia elétrica acoplada ao sistema ocorre geralmente em até 27 MHz com potências que chegam a limites de kW. No equipamento são acoplados dois eletrodos dispostos em um anel fora do tubo, conformação recomendada para gases nobres inflamáveis. No entanto, para experimentos que utilizem o ar atmosférico a operação é realizada por apenas um anel e um contra eletrodo localizado no centro do tubo em forma de agulha (Ehlbeck et al., 2011; Ojha et al., 2021; Y. F. da Silva et al., 2021).

2.2.5 Glow plasma

O plasma frio pode ocorrer em condições de pressão atmosférica ou em baixa pressão. É neste último caso que o glow plasma se enquadra, tecnologia em que o plasma em geral é produzido por radiofrequência ou energia de micro-ondas (Naebe et al., 2021). O glow plasma é gerado em uma câmara fechada equipada com uma bomba de vácuo, os alimentos acondicionados na câmara são bombardeados pelas espécies reativas formadas (Figura 1-V) (Thirumdas et al., 2016). Reatores de glow plasma requerem conhecimentos técnicos adicionais em relação às características da amostra analisada, uma vez que os alimentos submetidos ao processamento não devem ser suscetíveis a injúrias mecânicas por exposição a baixas pressões de gás (Pedrow et al., 2020).

O plasma formado por este equipamento ocorre quando tensões que variam de 0,1 a 100 kV são diretamente aplicadas em gases de baixa pressão (1 - 1000 Pa). O plasma, neste caso, é classificado como não térmico e ao contrário das demais descargas é altamente homogêneo, sendo capaz de gerar um elevado volume de plasma em baixa temperatura (P. Lu et al., 2016; Sakudo et al., 2020). Sabe-se também que a redução da pressão em 1 atm é acompanhada da diminuição da voltagem de ionização. Portanto, os equipamentos de plasma frio, que operam a baixa pressão, necessitam de menos energia para gerar plasma, característica que impulsionou o desenvolvimento de sistemas que utilizam câmaras de pressão reduzida (Niemira, 2014).

3 EFEITOS DO PLASMA FRIO NOS PIGMENTOS NATURAIS

Os pigmentos naturais são substâncias que possuem estruturas químicas capazes de absorver radiação na região visível do espectro eletromagnético, possuem funções biológicas importantes, e podem ser amplamente encontrados em plantas, bioacumulados em alguns animais e sintetizados por alguns micro-organismos. Os alimentos possuem coloração devido à presença de pigmentos como as clorofilas (verde), os carotenoides (amarelo-alaranjado-

vermelho), as antocianinas (vermelho-azul-púrpura), as betalaínas (vermelho-violeta/ amarelo-laranja), as mioglobinas que conferem a cor avermelhada a carne e outras classes de compostos fenólicos, inclusive os que atuam na co-pigmentação junto às antocianinas (Jurić et al., 2020; Mani et al., 2021; Ribeiro & Veloso, 2021).

3.1 Clorofilas

As clorofilas são pigmentos fotossintéticos primários em plantas e outros fotoautotróficos, sua função principal consiste em conduzir a fotossíntese ao absorver a luz do ambiente e convertê-la em energia química (Roca et al., 2016; Solovchenko et al., 2019). As clorofilas possuem a porfirina (Figura 2) como base da estrutura principal, que é composta por quatro anéis pirróis, cada um deles com quatro carbonos e uma molécula de nitrogênio, que são unidos por meio de uma ponte de carbono a um macrociclo aromático. A estrutura química macrocíclica aromática é responsável pelas propriedades fotodinâmicas, fototérmicas e fluorescência das clorofilas (Singh et al., 2020; Cai et al., 2021;).

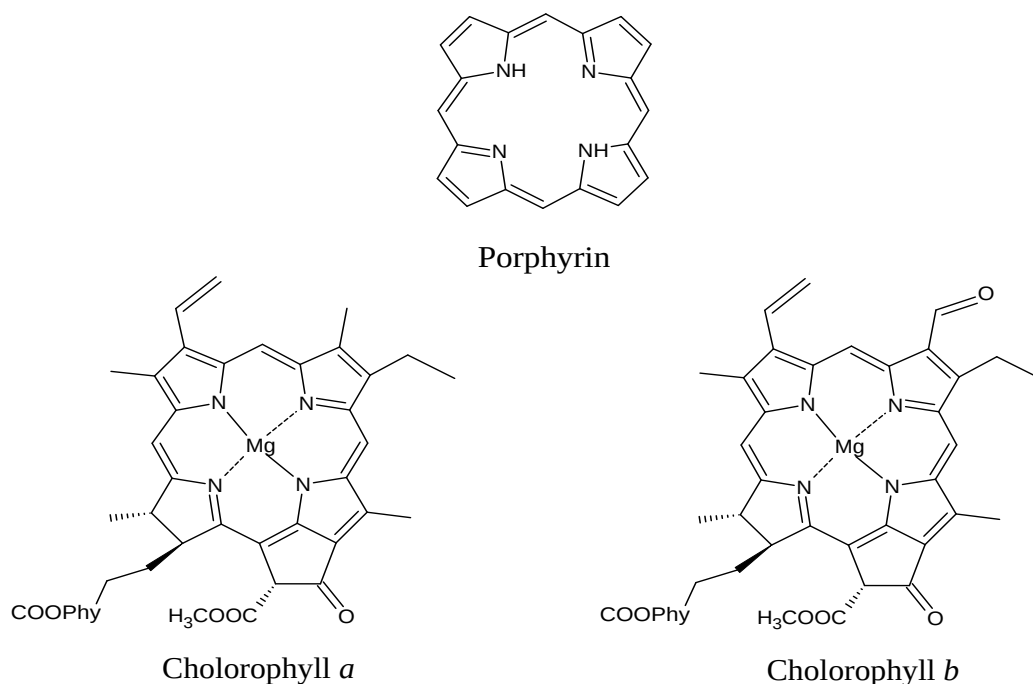


Figura 2 - Estrutura principal das clorofilas e clorofilas predominantes em tecidos vegetais.

Existem cinco tipos distintos de clorofila (*a*, *b*, *c*, *d*, *f*), com destaque para a clorofila *a* (azul esverdeada) e clorofila *b* (amarelo esverdeada). As clorofilas *a* e *b* (Figura 2) são encontradas predominantemente em tecidos vegetais, enquanto as clorofilas *c*, *d* e *f* são

presentes em cianobactérias, diatomáceas, dinoflagelados e algas (Hayes & Ferruzzi, 2020; Lin & Charng, 2021).

O processo de degradação das clorofilas ocorre durante a senescência e o amadurecimento de vegetais, assim como por estresses bióticos e abióticos (Kuai et al., 2018). As clorofilas são quimicamente instáveis em relação ao excesso de luz ou calor, presença de oxigênio, sob ambiente ácido e por ação de enzimas como a clorofilase; dessa forma, as espécies reativas de oxigênio (ROS) e UV formadas pelo plasma podem afetar a estabilidade das clorofilas (Jurić et al., 2020). Quando expostas ao aquecimento prolongado em meio ácido, as clorofilas são convertidas em feofitina, com alteração de verde para verde oliva, a partir da substituição do íon Mg^{2+} por H^+ no centro do anel porfirínico da molécula de clorofila. Em relação à estabilidade térmica, a clorofila *a* é mais predisposta a formação de feofitina do que a clorofila *b*, a condição de maior estabilidade do tipo *b* pode ser conferida ao efeito da retirada de elétrons de seu grupo formila (Sonar et al., 2019). Durante o tratamento térmico prolongado de vegetais processados, a feofitina pode vir a ser convertida em pirofeofitina, sendo este composto utilizado como indicador de severidade do tratamento (Rodriguez-Amaya & Carle, 2021). Sendo assim, a utilização de processamentos não térmicos, como o plasma frio, pode ser vista como excelente alternativa para a retenção da cor de vegetais processados.

As clorofilas são responsáveis por um número expressivo de funções biológicas, tanto em plantas quanto em animais. Devido suas propriedades bioativas, as clorofilas têm grande influência na saúde humana, uma vez que contribuem para o reequilíbrio da microbiota intestinal, além de sua estrutura química oferecer propriedades antioxidantes, antimicrobianas, antimutagênica e quimiopreventiva, bem como ser uma fonte para a incorporação de magnésio na alimentação (Lanfer-Marquez, 2003; Queiroz Zepka et al., 2019).

Dentre as pesquisas que observaram a influência da aplicação do plasma frio (Tabela 1) em matrizes alimentícias, na maior parte dos estudos observa-se uma pequena diminuição no teor de clorofila. A diminuição significativa na clorofila *a* foi verificada por Ramazzina et al. (2015b) em kiwi, que verificaram redução de cerca de 15% após o tratamento com plasma de descarga atmosférica de barreira dupla. Porém, outra explicação foi oferecida em que a degradação da clorofila no tratamento com plasma pode estar associada ao mecanismo de degradação do Tipo II, que é mediado pela presença de ROS produzidos durante reações relacionadas ao metabolismo tecidual ou, no caso da pesquisa em questão, pelo plasma. Assim, os autores deduziram que as ROS produzidas durante os tratamentos causaram a degradação dos pigmentos. Além disso, foi posto como hipótese que a aplicação do plasma produziu desnaturação parcial de enzimas, que pode ter provocado uma desaceleração no catabolismo da

clorofila operado por enzimas como a clorofilase e a magnésio dequelatase (decomposição do Tipo I), durante o armazenamento.

S. Ji et al. (2020), relataram que o aumento do acúmulo de clorofilas (62%) em mudas de ginseng foi gerado possivelmente pela elevação do nível de expressão dos genes relacionados ao metabolismo da clorofila, consequente da exposição das raízes de ginseng (mudas com 1 ano de idade) ao plasma. O gás de alimentação para a descarga de plasma foi de 2 lpm de N₂, após o tratamento as raízes foram encubadas e após três dias, semeadas.

Tabela 1 – Efeito do plasma frio nas clorofilas

Amostras	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Mudas de ginseng (<i>Panax ginseng</i>)	Plasma de descarga de barreira micro dielétrica	Gás: N ₂ Fluxo de gás: 2 lpm Energia: 55 mW cm ⁻² por área de 60 mm Duração de tratamento: 3 e 10 min	Os teores de clorofila aumentaram 62% na parte aérea das mudas de ginseng tratadas com plasma em comparação com os controles não tratados	(S. H. Ji et al., 2020)
Algas espirulina (<i>Spirulina</i>) em pó	Plasma de pressão atmosférica fria com micro-descarga de superfície	Gás: ar e N ₂ Frequência: 10 kHz Potência: 10-20 W Densidades de potência de descarga: 7 mW/cm ² a 15 mW/cm ² Temperatura: 35 °C Duração de tratamento: 0–5 min	As concentrações de clorofila <i>a</i> foram mais reduzidas pela exposição do pó a um plasma de ar, em comparação com o plasma de nitrogênio	(Beyrer et al., 2020)
Sementes de feno-grego (<i>T. foenum-graecum</i>)	Plasma de descargas de barreira dielétrica	Gás: Argônio Frequência: 13 kHz Tensões: 3500 e 4000 V Duração de tratamento: 0,5; 1, 2 e 5 min	As tensões de 3500 V/30 s 4000 V/1 min aumentaram a clorofila total em 49 e 47%, respectivamente	(Ebrahimibasabi et al., 2020)
Sementes de cominho (<i>Cuminum cyminum</i> L.)	Plasma de descarga de barreira dielétrica	Gás: ar atmosférico Pressão: 50-75 mm Hg Duração de tratamento: 2, 3 e 4 min	A clorofila total e a clorofila <i>a</i> aumentaram significativamente no tratamento de 3 min para 15,5% e 41,85% em comparação com o controle	(Paatre Shashikanthalu et al., 2020)
Microalga verde (<i>Chlorella vulgaris</i>)	Jato de plasma	Gás: Argônio Frequência: 24,5 kHz Voltagem senoidal: 29,85 kV a Duração de tratamento: 0, 30, 60, 90 e 120 s	O conteúdo médio de clorofila celular foi 18,7% e 23,3% maior que o controle e 60 s, respectivamente	(Almarashi et al., 2020)
Semente de ervilha (<i>Pisum sativum</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Gás: atmosfera do ar Potência de descarga: 9–35 W Duração de tratamento: 1–10 min	Com tempos de tratamento de 5 min ou mais, as concentrações de clorofila foram notavelmente maiores do que as do controle	(Gao et al., 2019)

Tabela 1 – Continuação

Amostras	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Plantas de colza (<i>Brassica napus</i>)	Descarga de barreira dielétrica de baixa pressão	Gás: Ar, O ₂ e ar Tensão: 5-10 kV e 3-8 kHz Duração de tratamento: 10 min	Um aumento significativo da concentração em clorofila total <i>a</i> e <i>b</i> foi encontrado nas folhas de colza, devido à descarga de barreira dielétrica de baixa pressão de Ar / O ₂	(Islam et al., 2019)
Trigo (<i>Triticum</i> spp.)	Plasma por radiofrequência	Gás: O ₂ e N ₂ Frequência: 13,56 MHz Duração de tratamento: 60, 120, 180 e 240 s	Tratamento com plasma em 180 s aumentou o conteúdo de clorofila em 32% ao comparado com o controle	(M. Saberi et al., 2020)
Mudas de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Plasma de radiofrequência	Gás: N ₂ (79%) e O ₂ (21%) sem vapor de água Frequência: 2 kHz Potência: 10 kV	O tratamento com plasma frio aumentou significativamente os conteúdos de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e clorofila total nas folhas em comparação com as dos controles	(Sheteiwy et al., 2019)
Sementes de trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	Gliding arc discharge	Gás: H ₂ O/ar; H ₂ O/O ₂ e H ₂ O/O ₂ /ar Frequência: 200 Hz Tensão: 4-6 kV Temperatura: ~ 310 K Duração de tratamento: 3, 6, 9, 12 e 15 min	Conteúdo total de clorofila aumentou após o plasma com três composições de gás	(Roy, Hasan, Kabir, et al., 2018)
Trigo (variedade <i>Pishgam</i>)	Plasma de radiofrequência	Potência: 80 W Duração de tratamento: 60, 120, 180 e 240 s	As clorofilas totais foram maiores nas amostras tratadas com plasma ao comparado ao controle	(Mahin Saberi et al., 2018)
Pimenta (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Gás: argônio Frequência: 23 kHz Potência: 80 W Voltagem: 11 kV	A clorofila <i>a</i> foi aumentada para 39,35% para as mudas tratadas com plasma, comparados com o controle	(Iranbakhsh, Oraghi Ardebili, et al., 2018)

Tabela 1 – Continuação

Amostras	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Sementes de trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	Plasma de descarga luminescente	Gás: ar e ar/O ₂ (ar: 25%; O ₂ : 75%) Potência: ~ 60 W Duração de tratamento: 3, 6, 9, 12 e 15 min	Os tratamentos de 6 e 9 min com plasmas de ar/O ₂ proporcionaram aumento na clorofila <i>a</i> e clorofila <i>b</i> , bem como no teor de clorofila total das folhas em comparação com o controle	(Roy, Hasan, Talukder, et al., 2018)
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Potência: 80 W Duração de tratamento: 15, 30, 60, 90 e 120 s	O plasma frio teve um efeito de aumento no conteúdo de clorofila	(Iranbakhsh, Ardebili, et al., 2018)
Semente de amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L. cv. Eyou 7)	Plasma HD-2N	Gás: hélio Frequência: 13,56 MHz Potência: 60, 80, 100, 120 e 140 W Pressão: 150 Pa Duração de tratamento: 15 s Temperatura: 25 °C	O tratamento com plasma frio aumentou o conteúdo de clorofila	(L. Li et al., 2016)
Kiwis (<i>Actinidia deliciosa</i>) minimamente processados	Plasma de descarga atmosférica de barreira dupla	Gás: gás atmosférico Tensão: 2 a 19 V Duração de tratamento: 20 min (10 + 10 min para cada lado) e 40 min (20 + 20 min para cada lado)	Uma diminuição significativa na clorofila <i>a</i> (cerca de 15%) foi observada logo após o tratamento, embora nenhuma diferença significativa entre as amostras de controle e tratadas tenha sido observada após 4 dias de armazenamento	(Ramazzina et al., 2015b)
Sementes de trigo (<i>Triticum</i> spp.)	Plasma de radiofrequência	Gás: hélio Frequência: 3 × 109 MHz Potência: 60, 80 e 100 Pressão: 150 Pa Energia do fóton: ~13 eV Duração de tratamento: 15s	O teor de clorofila da planta tratada foi de 15,7% e 9,8% maior que o controle.	(J. Jiang et al., 2014)

Uma das principais vias de modificação das clorofilas pelo plasma está na remoção do magnésio quelado do centro do anel de porfirina. Neste caso, o magnésio quelado é substituído por um íon hidrogênio no anel de porfirina, assim sistemas de plasma que favorecem reações de hidrogenação agem possivelmente em uma degradação mais acentuada da clorofila (Queiroz Zepka et al., 2019). Outro fator a ser considerado é a variação do pH da amostra sob tratamento com plasma, uma vez que o mesmo tende a ocasionar a sua redução, portanto, é um item que deve ser controlado. Além disso, a clorofila pode sofrer modificações devido à foto-oxidação em tecnologias de plasma que irradiam grandes quantidades de fótons e luz UV (Koca et al., 2007).

Em conclusão ao levantamento realizado, percebe-se que há maior incidência de pesquisas que avaliam o efeito do plasma na germinação de sementes e que para este caso existe uma predominância do aumento do teor de clorofilas. Referente as clorofilas presentes em alimentos, nota-se que são poucas as investigações sobre o efeito do plasma em matrizes alimentícias, mas o que se supõe é que o plasma provoca uma pequena redução no teor de clorofilas, no entanto, os mecanismos para essa redução ainda precisam ser completamente elucidados.

3.2 Carotenoides

Os carotenoides são isoprenos encontrados em plantas fotossintéticas, algas, cianobactérias, fungos procariotos e não-fotossintéticos, bem como em poucas espécies de animais e alguns artrópodes como hemípteros (pulgões, adelgídeos, filoxerídeos) (Yabuzaki, 2017; Rodriguez-Concepcion et al., 2018). Nos alimentos, os principais carotenoides encontrados são β -caroteno, licopeno, luteína, α -caroteno, zeaxantina, β -criptoxantina, astaxantina e cantaxantina, que possuem coloração de vermelho, laranja ou amarelo (Figura 3); no entanto, também existem carotenoides incolores (fitoeno e fitoflueno) (Meléndez-Martínez et al., 2015, 2020). Esta classe de pigmento lipossolúvel é essencial na fotossíntese, fotoproteção, mediação do desenvolvimento e resposta a estímulos ambientais nas plantas (T. Sun et al., 2018), assim como algumas estruturas específicas desempenham papel importante na saúde humana, como precursores da síntese de retinol (vitamina A), que consiste em um micronutriente responsável por funções na visão, respostas imunológicas e reprodução (Meléndez-Martínez, 2019). Entretanto, a atividade provitamina A reside apenas nos compostos com anel β não substituído ligado a uma cadeia poliênica com pelo menos 11 carbonos (α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno e β -criptoxantina), e dentre eles o β -caroteno possui maior atividade provitamina A, visto que cada molécula pode ser clivada em duas moléculas de retinol

(Hermanns et al., 2020). Além da importante função como precursores de retinol, os carotenoides merecem destaque pela atuação como corantes naturais, como compostos antioxidantes em sistemas fisiológicos, alimentícios e como promotores da saúde humana (Meléndez-Martínez et al., 2020).

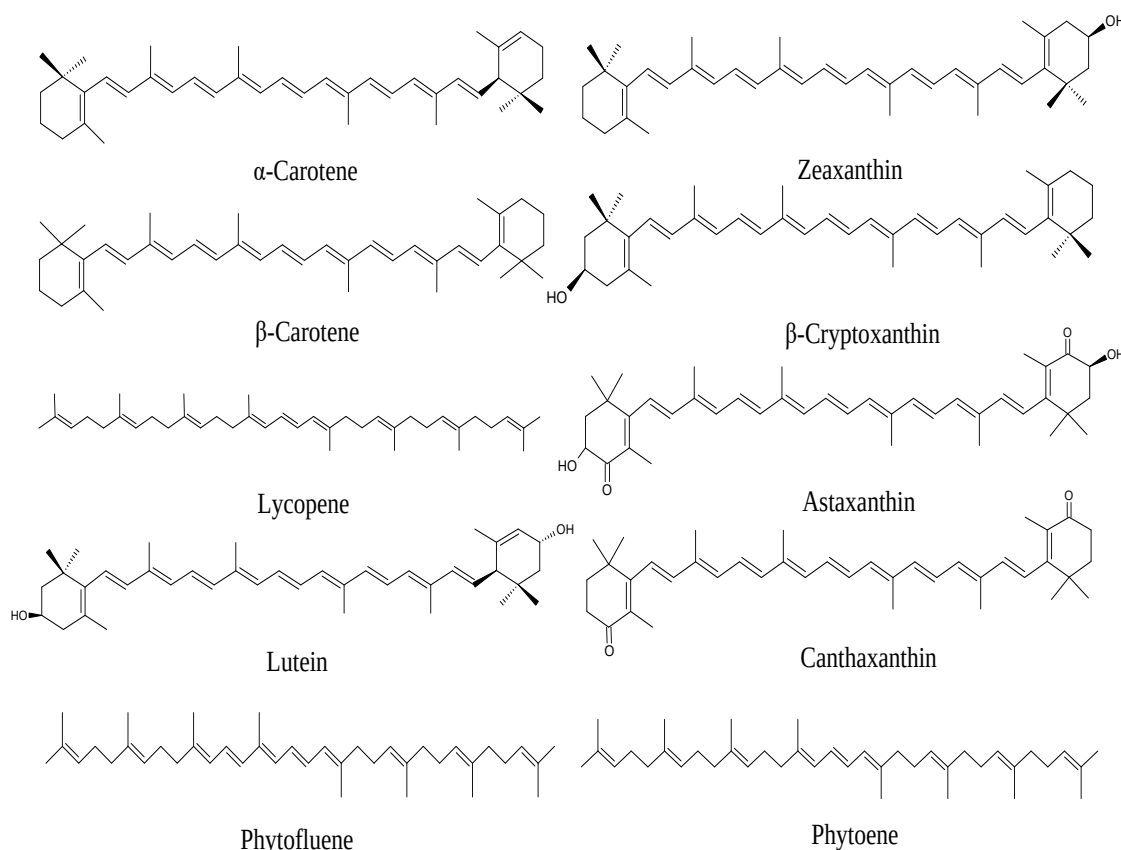


Figura 3 – Estruturas químicas dos principais carotenoides nos alimentos.

Os carotenoides são classificados em carotenos (estruturas químicas não oxigenadas) e xantofilas (derivados oxigenados dos carotenos) (Sahar et al., 2019; Hermanns et al., 2020). Os carotenoides são moléculas extremamente sensíveis e apresentam baixa estabilidade na presença de espécies reativas oxidantes, pH ácido e ambiente com alta incidência de luz e aumento de temperatura (Pintea et al., 2018; Wei Lu et al., 2020). Portanto, a interação do plasma com os carotenoides pode interferir na estabilidade da molécula devido à alta reatividade do plasma, no que se refere a presença de ROS, RNS, espécies e fótons ultravioletas, resultando em um efeito negativo na cor (Mao et al., 2021).

Na natureza, já foram identificados mais de 750 carotenoides, com exceção dos isômeros *cis* (Z) e *trans* (E) (Britton; Liaaen-jensen; Pfander, 2004). Além destes, inúmeros outros compostos ocorrem por modificações como hidrogenação, desidrogenação, migração de

ligações duplas, extensão ou encurtamento de cadeias, ciclização e isomerização no arranjo estrutural dos carotenoides (Britton; Liaaen-jensen; Pfander, 2004; Rodriguez-Amaya, 2015; Sahar et al., 2019; Ribeiro & Veloso, 2021). Estas modificações podem ser correlacionadas positivamente com a aplicação do plasma frio, uma vez que este tratamento pode induzir reações de hidrogenação, desidrogenação e isomerizações (Sruthi et al., 2022).

Foi relatado na literatura que o plasma promove efeitos divergentes no teor de carotenoides a depender do tipo de matriz alimentar analisada e parâmetros de processamento (Tabela 2). Em um estudo recente, Mahnot et al. (2020) empregaram descarga de barreira dielétrica em cenouras minimamente processadas *in package* e relatam que o plasma resultou em pequenas perdas no teor de carotenoides totais; no entanto, de maneira geral, foi observada uma tendência para a retenção do pigmento no tratamento e que um aumento na voltagem afetou o conteúdo total de carotenoides. Ao contrário, o tempo de tratamento não foi considerado um fator significativo no conteúdo total de carotenoides, exceto em 5 min de exposição ao plasma. Os autores propuseram que as espécies oxidantes do plasma podem interagir com as cadeias poliênicas insaturadas dos carotenoides, conhecidas por serem mais susceptíveis às alterações químicas. Neste contexto, carotenoides como o β -caroteno seguem uma reação de adição de ciclo que resulta em degradação em compostos carbonílicos, epóxidos, hidroxialdeídos e cetonas (Benevides et al., 2011). Além disso, as doses baixas de luz ultravioleta geradas durante o tratamento com plasma podem levar à degradação dos carotenoides na superfície das cenouras tratadas, comportamento que pode ser atribuído à formação de oxigênio singlete por meio dos compostos biológicos na presença de luz. Posteriormente, o oxigênio singlete liga-se à cadeia de hidrocarbonetos dos carotenoides, levando à sua degradação (M. M. da Silva et al., 2017; Yahia et al., 2017).

Tabela 2 – Efeito do plasma frio nos carotenoides

Substrato	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Suco de cenoura (<i>Daucus carota</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 70 kV Duração de tratamento: 3 min	Houve aumento no conteúdo de carotenoides em relação ao controle	(Umair et al., 2022)
Polpa de abacate (<i>Persea americana</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Fluxo de gás: 10, 20 e 30 ml Duração de tratamento: 10, 20 e 30 min	Houve aumento de 25% a 86% no conteúdo de carotenoides em relação ao controle	(Batista et al., 2021)
Suco de cenoura fresco (<i>Daucus carota</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 80 kV Duração de tratamento: 4 min	Foi observado que o conteúdo de carotenoides totais, licopeno e luteína aumentou durante o tratamento com plasma em comparação com o controle	(Umair et al., 2020)
Algas <i>spirulina</i> em pó	Plasma de pressão atmosférica fria com micro-descarga de superfície	Frequência: 10 kHz	O plasma de nitrogênio aplicado com uma potência específica de 7 ou 15 mW/cm ² não influencia significativamente a concentração de carotenoides, enquanto que o plasma de ar reduz moderadamente os carotenoides	(Beyrer et al., 2020)
Feno-grego (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	Jato de plasma de descarga de barreira dielétrica	Gás: Argônio Frequência 13 kHz Tensões: 3500 V, 4000 V Duração de tratamento: 0,5; 1, 2 e 5 min	A aplicação do plasma não promoveu efeito estatisticamente significativo no teor de carotenoides	(Ebrahimibasabi et al., 2020)
Cenouras (<i>Daucus carota</i>) minimamente processadas in package	Descarga de barreira dielétrica	Tensões: 0, 60, 80 e 100 kV Duração de tratamento: 0, 1, 2, 3, 4, 5 min Espessura da embalagem: 50 µm	O aumento na voltagem promoveu um aumento no conteúdo total de carotenoides. Ao contrário, o tempo de tratamento não foi considerado um fator significativo, exceto em 5 min. No geral, uma boa retenção de carotenoides foi observada no processamento de plasma frio	(Mahnot et al., 2020)
Suco de cenoura (<i>Daucus carota</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 80 kV Duração de tratamento: 4 min	O teor de carotenoides aumentou durante o tratamento com plasma em comparação com o controle	(Umair et al., 2020)

Tabela 2 – Continuação

Substrato	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Suco de cenoura (<i>Daucus carota</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 60, 70 e 80 kV Duração de tratamento: 3 e 4 min	A retenção máxima de compostos corantes foi encontrada após o tratamento plasma (70 kV/4 min) em comparação com o tratamento térmico	(Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019)
Suco de cenoura (<i>Daucus carota</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 70 kV Duração de tratamento: repetição de tratamento por três vezes durante 4 minutos com um intervalo de descanso de 30 s entre cada 4 minutos de tratamento	Aumentos significativos foram observados nos carotenoides totais, licopeno e luteína quando comparado aos tratamentos de controle	(Umair, Jabbar, Senan, et al., 2019)
Tomates (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Gás: ar atmosférico Potência: 2, 3 e 5 W Duração de tratamento: 4-6 min	Os carotenoides presentes nos tomates (licopeno e beta-caroteno), diminuíram consideravelmente após o tratamento com plasma	(Ranjitha Gracy et al., 2019)
Tomate fresco (<i>Lycopersicon Esculentum</i> cv . <i>Apis</i> F1)	Gliding arc	Gás: N ₂ Frequência: 50 Hz Potência: 40 W Tensão: 3,8 kV	O aumento no conteúdo total de carotenoides e licopeno foi de 13% e 11%, respectivamente, em relação ao controle	(Starek et al., 2019)
Bebida de soro de leite com sabor de goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	Glow discharge a vácuo	Gás: N ₂ Fluxo de gás: 10, 20 e 30 mL/min Duração de tratamento: 5, 10 e 15 min	A aplicação de plasma frio em bebidas lácteas levou a um aumento de carotenoides de 24 a 157% maior do que os valores encontrados na bebida láctea pasteurizada	(Silveira et al., 2019)
Suco de acerola (<i>Malpighia emarginata</i>)	Glow plasma	Gás: N ₂ Fluxo de gás: 10 a 20 mL/min Duração de tratamento: 5 a 15 min	O teor de carotenoides totais no suco de acerola tendeu a aumentar quando até 100 mL de plasma de nitrogênio passaram pela câmara de tratamento. Submeter o suco a níveis plasmáticos mais elevados diminuiu o conteúdo total de carotenoides (representado por tempos de processamento mais longos)	(Fernandes et al., 2019)

Tabela 2 – Continuação

Substrato	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Purê de abóbora (<i>Cucurbita</i>)	Corona discharge	Gás: argônio (pureza de 99,998%) Fluxo de gás: 0,3 L/min Duração de tratamento: 2, 4, 5, 8, 10, 12, 15 e 20 min	Houve uma diminuição no teor de carotenoides em todas as amostras processadas por plasma	(Santos et al., 2018)
Trigo (variedade <i>Pishgam</i>)	Plasma de radiofrequência	Potência: 80 W Duração de tratamento: 60, 120, 180 e 240 s	Os resultados indicam o aumento da quantidade de carotenoide em 80% a 180 s de plasma em comparação com o controle	(Mahin Saberi et al., 2018)
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Potência: 80 W Duração de tratamento: 15, 30, 60, 90 e 120 s.	Os carotenoides aumentaram 43,9 (60 s) e 36,3 (120 s) em comparação com o controle	(Iranbakhsh, Oraghi Ardebili, et al., 2018)
Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	Gliding arc	Gás: argônio e vapor de água Potência: 600 W Temperatura: 28-30 °C Vazão do gás: 2 a 8 L/min Tempo de tratamento: 5 e 10 min	Os carotenoides totais das mangas tratadas com plasma frio foram significativamente maiores do que os do controle	(Phan et al., 2018)
Kiwis (<i>Actinidia deliciosa</i>) minimamente processados	Descarga de barreira dielétrica	Gás: gás atmosférico Tensão: 2 a 19 V Duração de tratamento: 20 min (10 + 10 min para cada lado) e 40 min (20 + 20 min para cada lado)	Amostras tratadas com plasma mostraram uma perda de pigmentos mais limitada do que as amostras de controle	(Ramazzina et al., 2015a)

Uns dos primeiros estudos que propuseram a avaliação do efeito do plasma em carotenoides de produtos lácteos saborizados com frutas foi realizado por Silveira et al. (2019). Os autores observaram que a aplicação de plasma frio em bebidas lácteas levou a um aumento no teor de carotenoides de 24 a 157% quando comparado aos valores encontrados na bebida pasteurizada. Neste estudo os autores apresentam como os parâmetros operacionais influenciaram a concentração de carotenoides, em que a maior taxa de fluxo de gás (30 mL/min) resultou em uma maior concentração de carotenoides (0,69-0,85 mg/100 mL) quando comparada a taxas de fluxo menores (10 mL/min, 0,49-0,72 mg/100 mL). Foi observada também a interação entre o fluxo de gás e o tempo de processamento, uma vez que em uma vazão baixa (10 mL/min), o aumento no tempo de processamento aumentou a concentração de carotenoides, o que não foi claramente observado para o intermediário (20 mL/min) e taxas de fluxo altas (30 mL/min). A maior concentração de carotenoides (0,85 mg/100 mL) foi observada na bebida processada na maior taxa de fluxo e em tempos de processamento intermediários (VIII, 30 mL/min e 20 min). Segundo os autores, as maiores taxas de fluxo de gás e tempos de tratamento provavelmente proporcionaram a ruptura dos complexos carotenoide-proteína, sendo que as proteínas neste complexo atuam na proteção das moléculas de carotenoides. Neste caso, as espécies químicas ativas do plasma possivelmente afetam a estrutura supramolecular das proteínas, o que permite a liberação dos carotenoides tornando-os mais disponíveis no meio. Umair et al. (2020), observaram resultados semelhantes em suco de cenoura fresco processado com descarga de barreira dielétrica, em que houve aumento do conteúdo de carotenoides devido provavelmente ao fato das espécies reativas presentes no plasma desencadearem a liberação de carotenoides ligados e quebra de complexos de carotenoides cristalinos e complexos de pectina na parede celular da cenoura.

Ao analisar a literatura, poucos trabalhos abordam o efeito do plasma nas moléculas de carotenoides e que estudos mais complexos ainda precisam ser realizados para explicar mais detalhadamente a via química resultante da interação das espécies reativas durante a aplicação do plasma com tais pigmentos naturais.

3.3 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos hidrossolúveis pertencentes à família dos flavonoides, responsáveis pela coloração de frutas, flores e folhas, que admitem a pigmentação que varia do vermelho ao azul (Kurek et al., 2018; Bhargava et al., 2020a; Sruthi et al., 2022). Grande parte das antocianinas é gerada por meio da modificação de seis agliconas de

antocianinas mais comuns presentes na natureza: cianidina, delphinidina, pelargonidina, malvidina, peonidina e petunidina (Figura 4) (Martín et al., 2017).

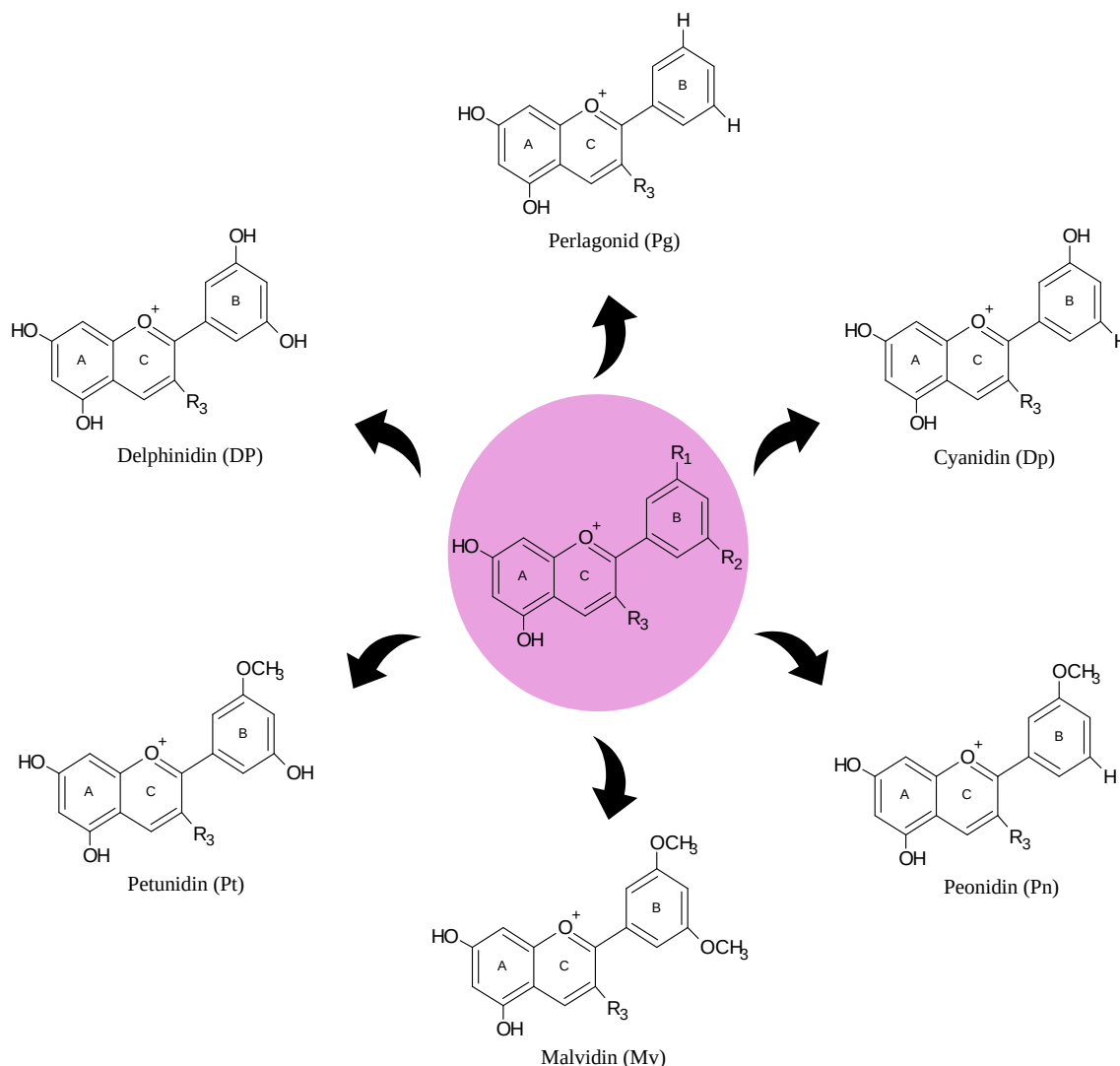


Figura 4 - Estrutura das antocianidinas mais comumente encontradas nos alimentos.

A molécula da antocianina é formada por uma estrutura básica não-glicosilada (antocianidina), podendo ser glicosilada por uma ou mais moléculas de açúcar, ou ainda aciladas por ácidos fenólicos e ácidos orgânicos condensados às mesmas moléculas de açúcares (Ribeiro & Veloso, 2021). A estabilidade das antocianinas é influenciada por fatores como sua estrutura, concentração, pH, aumento de temperatura, incidência de luz, exposição ao oxigênio, tipo de solventes, presença de enzimas, outros flavonoides, proteínas e íons metálicos. O pH é o principal fator de instabilidade, pois sua variação altera as estruturas das antocianinas que resultam na formação de compostos com cores distintas incluindo amarelo, azul, roxo e vermelho, ou mesmo se tornam incolores (Rodriguez-Amaya, 2016, 2019). As modificações na

coloração das antocianinas são ocasionadas pela transferência de prótons, reações de desidratação, hidratação e isomerização (Alvarez-Suarez et al., 2021). Vale ressaltar que antocianinas são acumuladas nos vacúolos das plantas, logo ao se utilizar tecnologias que quebram tanto a parede celular quanto a membrana dos vacúolos, há liberação da antocianina para o citoplasma e para o meio externo, onde o pH geralmente é maior e com isso há grande perda de antocianinas (Kammerer, 2016).

A redução da estrutura polihidroxi da antocianina permite que desempenhem atividade antioxidante eliminando radicais livres, quelando metais e modulando enzimas antioxidantes. A estrutura química é importante para a atividade de eliminação de radicais pelas antocianinas, portanto, o tipo, a posição e o número de grupos hidroxila interferem na atividade antioxidante desta molécula (Janarney et al., 2021).

As antocianinas têm atraído grande atenção devido ao atraente perfil nutricional, e dentre os benefícios associados à sua ingestão inclui propriedades antioxidantes, anticâncer, regulação glicêmica e de peso corporal, neuroproteção, proteção da retina, hipolipidemia, hepatoproteção, antienvhecimento entre outros (F. Zhu, 2018; P. Li et al., 2021).

Vários estudos conflitantes na literatura avaliaram os efeitos do plasma na estabilidade das antocianinas, e observaram o aumento (Elez Garofulić et al., 2015; Bursac Kovačević, Gajdoš Kljusurić et al., 2016; Mahin Saberi et al., 2018; Dong & Yang, 2019; M. Li et al., 2019; Sainz-García et al., 2019; Castro et al., 2020; Filatova et al., 2020; Y. Ji et al., 2020; Wu et al., 2020), ou a redução do teor de antocianinas (Lacombe et al., 2015; Bursac Kovačević, Gajdoš Kljusurić, et al., 2016; de Castro et al., 2020; Hosseini et al., 2020; Hou et al., 2019; Gan et al., 2021), assim como foram reportados estudos com nenhuma alteração no teor total deste pigmento (Misra et al., 2015; Pathak et al., 2020). A Tabela 3 resume a aplicação do plasma frio em diferentes matrizes, além dos parâmetros de processo empregados e as diferenças nos níveis de degradação das antocianinas relatados na literatura atribuídas principalmente as diferenças no substrato, fonte de plasma e parâmetros operacionais.

Tabela 3 - Efeito do plasma frio nas antocianinas

Substrato	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Suco de chokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Jato de plasma frio com configuração de barreira dielétrica	Gás: argônio Frequência: 1500 Hz Fluxo de gás: 1,5 L/min Voltagem: 9 kV Duração de tratamento: 1, 2, 3, 4 e 5 min	Antocianina foi degradada após o tratamento dos sucos com plasma frio. Conteúdo de antocianina mais alto foi observado nas amostras tratadas com plasma ao comparado com o tratamento padrão	(Gan et al., 2021)
Cereja (<i>Prunus avium</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 40, 60, 80 kV Duração de tratamento: 60, 80, 100, 140 s	Houve acúmulo de antocianina nas amostras com plasma frio Não houve diferença nos teores de antocianinas devido as diferentes tensões e tempos de processamento	(Wu et al., 2020)
Mirtilos (<i>Vaccinum</i> spp.)	Descarga de barreira dielétrica	Frequência: 5 kHz Voltagem: 12 kV Duração de tratamento: 30, 60, 90 s	O conteúdo de antocianina aumentou nos mirtilos tratados com plasma	(Y. Ji et al., 2020)
Sementes de milho (<i>Zea mays</i> L.) trigo de inverno (<i>Triticum aestivum</i> L.) e tremoço-de-folhas-estreitas (<i>Lupinus angustifolius</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Gás: O ₂ Pressão: 200 Pa Temperatura efetiva do elétron: $T_e \approx 2,3$ eV Densidade do elétron $n_e \approx 5 \times 10^8$ cm ⁻³	O tratamento das sementes com plasma por 2 e 4 min resultou em um aumento significativo das antocianinas, em raízes de mudas de milho de 7 dias. Nas folhas, apenas 4 min de tratamento causou um acúmulo substancial de antocianinas	(Filatova et al., 2020)
Mirtilos (<i>Vaccinum</i> spp.)	Descarga de barreira coplanar difusa de superfície	Gás: N ₂ Potência: 300 W Duração de tratamento: 5 e 10 min	O teor de antocianinas não foi significativamente afetado pelo tratamento com plasma	(Pathak et al., 2020)
Suco de camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Frequência: 200, 420, 583, 698 e 960 Hz Duração de tratamento: 15 min	As antocianinas apresentaram maior degradação com o aumento da frequência de excitação	(de Castro et al., 2020)
Suco de camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	Glow Plasma Technique	Gás: ar sintético Taxa de fluxo de plasma: 10, 20 e 30 mL min ⁻¹ Duração de tratamento: 10, 20 e 30 min	O conteúdo total de antocianinas aumentou nos sucos tratados após o tratamento com plasma frio em comparação com a amostra não tratada	(Castro et al., 2020)

Tabela 3 - Continuação

Substrato	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Suco de cereja azeda (<i>Prunus cerasus</i> L.)	Descarga de barreira dielétrica	Gás: O ₂ e argônio Frequência: 20 kHz Voltagem: 0 a 20 kV Duração de tratamento: 1, 5, 9 min	O efeito dos radicais de oxigênio e ozônio foi considerado o fator de redução de antocianina mais importante	(Hosseini et al., 2020)
Vinho tinto Tempranillo	Jato de plasma de pressão atmosférica	Gás: argônio Fluxo de gás: 40 slm	O plasma levou a um aumento significativo nas antocianinas aciladas e não aciladas	(Sainz-García et al., 2019)
Suco de mirtilo (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Jato de plasma	Gás: Argônio e O ₂ Conteúdo de gás: 0, 0,5% e 1% de O ₂ Frequência: 1000 Hz Potência: 11 kV Fluxo de gás: 1,0 L/min Duração de tratamento: 2, 4 e 6 min	As amostras tratadas com plasma frio após 2 min exibiram um teor de antocianina maior do que o tratado termicamente. O tempo de tratamento mais longo com plasma frio levou ao decréscimo dos teores de antocianina. Os resultados mostraram que o teor de antocianinas no suco de mirtilo aumentou primeiro e depois diminuiu com o aumento da concentração de oxigênio	(Hou et al., 2019)
Mirtilo (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 36 V Corrente: 1,8 A Duração de tratamento: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 min	Antocianina total aumentou 2,2 vezes. Os tempos de degradação das antocianinas foram mais longos em comparação com as amostras sem tratamento. O tratamento com plasma aumentou o conteúdo total de antocianinas nos mirtilos e o efeito de aumento continuou por um período prolongado (até os 20 dias medidos)	(Dong & Yang, 2019)
Vinhos tintos e brancos	Plasma de descarga elétrica de alta tensão	Gás: argônio Frequência: 60, 90 e 120 Hz Fluxo de gás: 4 L/min Carga: 1,13 nF a até 30 kV Duração de tratamento: 3, 5 e 10 min	A composição de todas as antocianinas livres identificadas diminuiu ligeiramente com o aumento da duração e frequência do tratamento	(Lukić et al., 2019)

Tabela 3 - Continuação

Substrato	Fonte de plasma	Parâmetros do processo	Resultados	Referência
Fatias de morango (<i>Fragaria ananassa</i> Duch. cv. Benihoppe)	Descarga de barreira dielétrica	Voltagem: 45 kV Duração de tratamento: 1 min	O tratamento com plasma aumentou as antocianinas em morangos do dia 1 ao dia 3 de armazenamento	(M. Li et al., 2019)
Trigo (variedade <i>Pishgam</i>)	Plasma de radiofrequência	Voltagem: 80 W Duração de tratamento: 60, 120, 180 e 240 s	O tratamento de 180 s aumentou significativamente a antocianina	(Mahin Saberi et al., 2018)
Suco de chokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Jato de plasma	Gás: argônio Potência: 4 W Fluxo de gás: 0,75 dm ³ min ⁻¹ Duração de tratamento: 3 e 5 min	Houve 23% de perda de antocianinas em comparação ao suco não tratado	(Bursac Kovačević, Gajdoš Kljusurić, et al., 2016)
Suco de romã (<i>Punica granatum</i> L.)	Jato de plasma	Gás: argônio Fluxo de gás: 1,5 dm ³ /min Potência nominal: 6 W Tensão de 2,5 kV a 25 kHz Fluxo de gás: 0,75, 1, 1,25 dm ³ /min Campo elétrico: 25 kHz Duração de tratamento: 3, 5 e 7 min	O conteúdo de antocianina aumentou após o tratamento com plasma frio entre 21% e 35%. Configurações de plasma 3 min; 5 cm ³ ; 0,75 dm ³ /min proporcionou a maior estabilidade antocianina	(Bursac Kovačević, Putnik, et al., 2016)
Morango (<i>Fragaria ananassa</i> , var. Elsanta) in package	Descarga de barreira dielétrica	Espessura da embalagem: 50 µm Volume do headspace na embalagem: 7,8 × 10 ⁻³ m ³ Tensões: 60 e 80 kV Duração de tratamento: 1 e 5 min	A voltagem aplicada e o tempo de tratamento não tiveram um efeito significativo no teor geral de antocianina	(Misra et al., 2015)
Cereja ácida Marasca (<i>Prunus cerasus</i> var. Marasca)	Jato de plasma	Gás: Argônio Corrente: 3 mA Potência: 4 W Fluxo de gás: 1,5 L/min Campo elétrico: 25 kHz	Os fatores que mais influenciaram as antocianinas foram a duração do tratamento com plasma e o volume da amostra tratada. Comparado ao suco pasteurizado e não tratado, o suco tratado com plasma apresentou o maior teor de antocianinas	(Elez Garofulić et al., 2015)
Mirtilos (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Jato de plasma	Gás: ar filtrado e seco (não ionizado) Frequência: 47 kHz Fluxo de gás: 7 cfm Consumo de energia: 549 W	No presente estudo, temperaturas > 38 °C após 30 dias podem ser o principal fator que contribui para a perda de antocianinas	(Lacombe et al., 2015)

Jato de plasma: 4 pés cúbicos/metro
(cfm)

Duração de tratamento: 0, 15, 30,
45, 60, 90 e 120 s

Em um dos primeiros estudos conhecidos, Lacombe et al. (2015) observaram a degradação das antocianinas em mirtilos, quando aplicado jato de plasma com ar filtrado e seco (não ionizado). Os autores propuseram que o aumento da temperatura e o tempo de tratamento, assim como o ozônio e outros radicais livres, são fatores que contribuem diretamente no mecanismo de degradação das antocianinas. De maneira semelhante, De Castro et al. (2020), concluíram que as antocianinas de suco de camu-camu (*Myrciaria dúbia*) apresentaram maior taxa de degradação (amostra controle: 39,37 mg.100 mL⁻¹; tratamento com plasma a 960Hz: 27,64 mg.100 mL⁻¹) com o aumento da frequência de excitação do plasma. Os autores utilizaram os estudos de Sadilova et al. (2007) e McKay et al. (2010) para explicar o comportamento de degradação das antocianinas. Segundo esses autores, altas frequências de excitação (960 Hz) permitem maior estabilidade e reatividade do plasma, devido ao aumento de densidade de energia dos íons e elétrons, além de produzirem maiores teores de ozônio ou radicais livres, que ao interagirem com os anéis de pirílio da estrutura molecular da antocianina, resultam em chalconas glicosiladas que se degradam em ácidos fenólicos e aldeídos.

Por outro lado, alguns estudos relataram o aumento no teor de antocianinas após o tratamento com plasma, e a explicação para tal comportamento deve-se ao fato de que o plasma age na ruptura parcial ou total das membranas celulares, permitindo então uma maior extração das antocianinas (Bursac Kovačević, Putnik, et al., 2016; Dong & Yang, 2019; Castro et al., 2020; Y. Ji et al., 2020). Bursac Kovačević, Putnik, et al. (2016), enfatizam que a ruptura da parede celular do vegetal permite a penetração do solvente nos compartimentos celulares facilitando a solubilização e a extração desses compostos bioativos. Eles relataram ainda que a razão para o aumento no teor das antocianinas totais (21–35%) em suco de romã pode estar relacionada à estrutura química, em que antocianinas glicosiladas seriam mais estáveis sob tratamento com o plasma ao comparado com moléculas agliconas. Em conclusão, os autores sugerem que o fluxo de gás na faixa de 0,75 a 1,25 dm³/h é o mais benéfico para a estabilidade das antocianinas e que os parâmetros ideais para o tratamento com plasma frio foram: 5 cm³ de volume de amostra, 0,75 dm³/min de fluxo de gás e 3 min de tempo de tratamento.

Com base nas pesquisas realizadas, verificamos que as explicações sobre o efeito do plasma frio na estrutura das antocianinas também são pouco exploradas. Portanto, estudos mais detalhados são necessários para compreender o mecanismo de interação entre as espécies formadas pelo plasma frio e as estruturas químicas das antocianinas.

3.4 Betalaínas

As betalaínas são pigmentos hidrossolúveis nitrogenados produzidos, em especial, por plantas da ordem *Caryophyllales*, como a pitaya (*Hylocereus undatus*), beterraba (*Beta vulgaris* L.), amaranto (*Amaranthus*) e pera espinhosa (*Opuntia ficus-indica*), e assim com as antocianinas, as betalaínas atuam na fotoproteção, tolerância aos períodos de seca, eliminação de radicais livres e na atração de polinizadores (Rahimi et al., 2019; Bhargava et al., 2020b; Birchfield & McIntosh, 2020). As betalaínas possuem propriedades e localização histológica semelhantes as antocianinas e são menos abundantes em espécies vegetais. No entanto, estes pigmentos não coexistem naturalmente em uma mesma matriz (Jain & Gould, 2015).

A aplicação das betalaínas tem recebido destaque como substituintes de corantes sintéticos por não serem alergênicas ou tóxicas e apresentarem estabilidade em uma ampla faixa de pH. Além disso, devido à atividade de eliminação de radicais livres, a ingestão de alimentos ricos em betalaínas vem sendo associada com benefícios a saúde como a atividade antioxidante, anticâncer e antimicrobiana (Coy-Barrera, 2020; Fernández-López et al., 2020; Madadi et al., 2020).

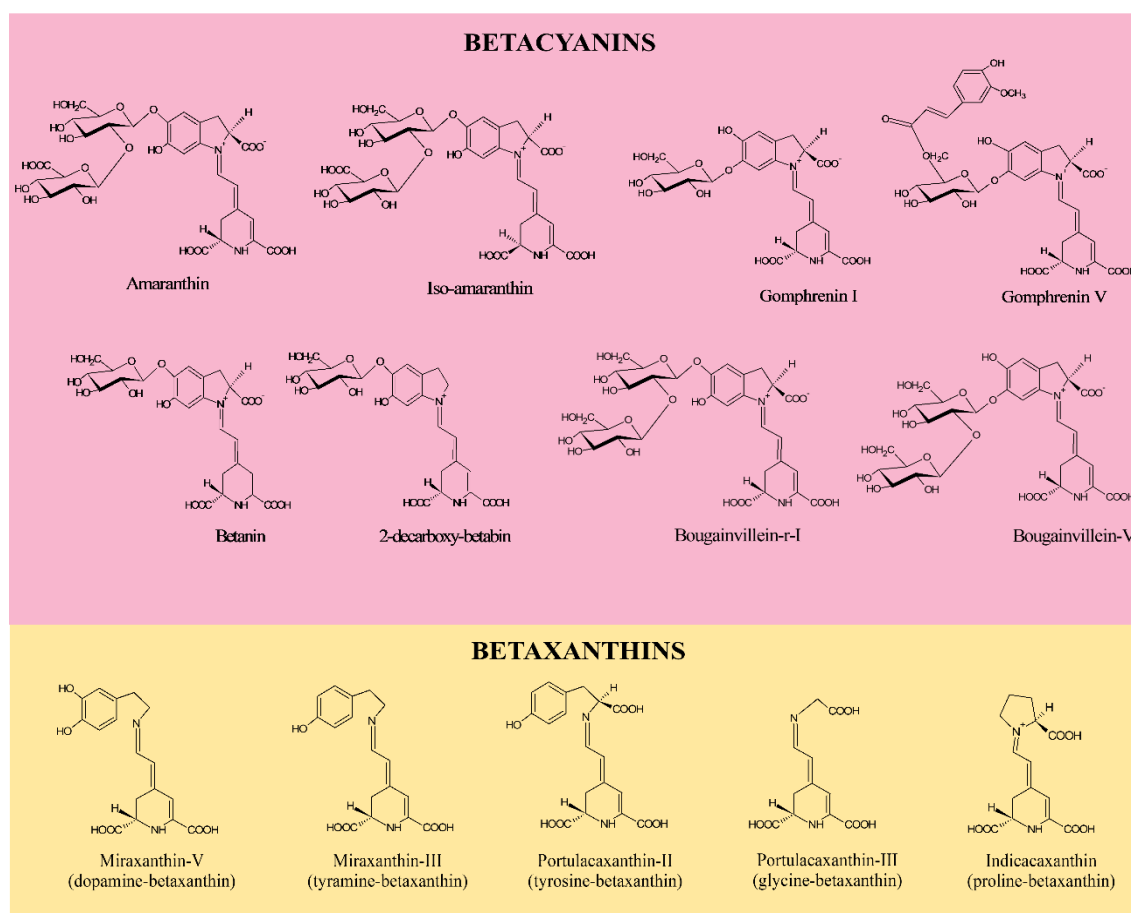


Figura 5 – Representantes típicos dos dois grupos de betalaínas.

As betalaínas são corantes naturais sintetizados a partir da tirosina, no qual o precursor biossintético é o ácido betalâmico; estes pigmentos são classificados em betacianinas e betaxantinas segundo a sua estrutura química e cor (Slimen et al., 2017; Domínguez et al., 2020). As betacianinas apresentam cor vermelho-violeta, cuja estrutura consiste na condensação do ácido betalâmico com o ciclo diidroxifenilalanina (ciclo-DOPA). Enquanto que as betaxantinas são estruturadas pela conjugação de ácido betalâmico com aminoácidos ou aminas (Figura 5), além de exibirem coloração amarelo-laranja (Khan, 2016; Castro-Enríquez et al., 2020).

A coloração de alimentos que contém betalaínas está relacionada com a proporção de betacianinas e betaxantinas. A estabilidade destes componentes é maior na faixa de pH entre 3,0 e 7,0, sendo influenciada por suas estruturas químicas que podem sofrer degradação ao longo do processamento e armazenamento por meio de reações químicas (isomerização, desglicosilação, hidrólise, descarboxilação e desidrogenação) que permitem mudanças na cor dos pigmentos. Além disso, as betalaínas possuem maior estabilidade com relação à temperatura e são menos predispostas a oxidação que as betaxantinas. De uma forma geral, a estabilidade das betalaínas diminui pela exposição a certas faixas de pH (< 3 e > 7), luz, oxigênio, elevada atividade de água e altas temperaturas (Esquivel, 2016; Castro-Enríquez et al., 2020; Jurić et al., 2020).

Atualmente, apenas o trabalho de Dzimitrowicz et al. (2021) estuda a aplicação do plasma frio em matriz alimentar fonte de betalaínas, por meio da avaliação do conteúdo total desde pigmento com aplicação de plasma frio de pressão atmosférica. A fonte de plasma deste estudo foi construída pelos autores em resposta a carência de equipamentos que atuam em fluxo contínuo, objetivando um sistema que não limite o volume de sucos tratados. Dessa forma, vale ressaltar que os equipamentos propostos que consistiram em uma descarga luminescente de pressão atmosférica de corrente contínua e uma descarga luminescente de pressão atmosférica de corrente alternada de radiofrequência modulada por pulso, ambos gerados em contato com suco de beterraba em fluxo. Neste estudo houve a redução do conteúdo total de betalaínas devido provavelmente a pequenas mudanças no pH e temperatura da amostra, ocasionadas pelo plasma. Portanto, mesmo que este trabalho tenha contribuído significativamente para esse campo de estudo, até onde sabemos, nenhuma pesquisa publicada foi encontrada para avaliação do efeito do plasma frio no perfil de betalaínas, o que demonstra a necessidade de estudos para sanar essa carência.

4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Nos últimos anos 10 anos, percebe-se o aumento do número de estudos que abordam a influência do plasma frio na estabilidade dos pigmentos naturais, que pode estar associada às diferentes matrizes alimentícias e condições operacionais de geração do plasma. Dentre as classes de pigmentos abordadas nessa revisão, o efeito do plasma frio nas betalaínas representa a área com maior escassez de informações, representando uma grande lacuna na literatura a ser explorada.

Ao analisar a literatura, nota-se que o plasma pode quebrar as membranas celulares e promover danos aos locais de armazenamento de pigmentos, que correspondem ao cloroplasto (clorofilas e carotenoides) e vacúolo (antocianinas e betalaínas), assim liberando os pigmentos e consequentemente aumentando seu conteúdo no espaço extracelular. No entanto, à medida que se aumenta o período de tratamento com o plasma estes pigmentos podem sofrer degradação oxidativa, o que explica os resultados de diminuição de pigmentos relatados na literatura. Entretanto, mais estudos são necessários para investigar quais parâmetros operacionais e tipos equipamentos de plasma são mais favoráveis a conservação da cor no alimento.

Como perspectivas futuras faz-se necessário pesquisas mais detalhadas sobre o efeito da aplicação do plasma frio na estabilidade e na composição dos pigmentos naturais no que diz respeito ao teor, perfil e também para elucidar os mecanismos de degradação das clorofilas, carotenoides, antocianinas e betalaínas após exposição ao plasma frio. Além disso, possivelmente o ajuste adequado das condições operacionais pode ser usado para modular algumas das reações químicas.

ACKNOWLEDGMENTS

Os autores agradecem a FAPESPA (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas, Belém, PA, Brasil, Projeto 2017/52864 - ICAAF Nº 013/2018), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio de bolsas de mestrado.

REFERÊNCIAS

Adelodun, A. A. (2020). Influence of Operation Conditions on the Performance of Non-thermal Plasma Technology for VOC Pollution Control. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 92, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.026>

- Albuquerque, B. R., Pinela, J., Barros, L., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Anthocyanin-rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product. *Food Chemistry*, 316, 126364. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126364>
- Almarashi, J. Q. M., El-Zohary, S. E., Ellabban, M. A., & Abomohra, A. E. F. (2020). Enhancement of lipid production and energy recovery from the green microalga *Chlorella vulgaris* by inoculum pretreatment with low-dose cold atmospheric pressure plasma (CAPP). *Energy Conversion and Management*, 204(September 2019), 112314. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112314>
- Alvarez-Suarez, J. M., Cuadrado, C., Redondo, I. B., Giampieri, F., González-Paramás, A. M., & Santos-Buelga, C. (2021). Novel approaches in anthocyanin research - Plant fortification and bioavailability issues. *Trends in Food Science and Technology*, January. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.049>
- Alves Filho, E. G., de Brito, E. S., & Rodrigues, S. (2020). Chapter 8 - Effects of cold plasma processing in food components. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 253–268). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00008-6>
- Amanpour, A., Vandamme, J., Polat, S., Kelebek, H., Van Durme, J., & Selli, S. (2019). Non-thermal plasma effects on the lipoxygenase enzyme activity, aroma and phenolic profiles of olive oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54(April), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.04.004>
- Ansari, M., Sharifian, M., Ehrampoush, M. H., Mahvi, A. H., Salmani, M. H., & Fallahzadeh, H. (2021). Dielectric barrier discharge plasma with photocatalysts as a hybrid emerging technology for degradation of synthetic organic compounds in aqueous environments: A critical review. *Chemosphere*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128065>
- Arcanjo, M., Montanyà, J., Urbani, M., Lorenzo, V., & Pineda, N. (2021). Observations of corona point discharges from grounded rods under thunderstorms. *Atmospheric Research*, 247(February 2020), 105238. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105238>
- Batista, J. D. F., Dantas, A. M., dos Santos Fonseca, J. V., Madruga, M. S., Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., & da Silva Campelo Borges, G. (2021). Effects of cold plasma on avocado pulp (*Persea americana* Mill.): Chemical characteristics and bioactive compounds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15179>
- Benevides, C. M. D. J., Veloso, M. C. D. C., De Paula Pereira, P. A., & Andrade, J. B. De.

- (2011). A chemical study of β -carotene oxidation by ozone in an organic model system and the identification of the resulting products. *Food Chemistry*, 126(3), 927–934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.082>
- Beyrer, M., Pina-Perez, M. C., Martinet, D., & Andlauer, W. (2020). Cold plasma processing of powdered *Spirulina* algae for spore inactivation and preservation of bioactive compounds. *Food Control*, 118(May), 107378. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107378>
- Bhargava, N., Sharanagat, V. S., Mor, R. S., & Kumar, K. (2020a). Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 105(July), 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>
- Bhargava, N., Sharanagat, V. S., Mor, R. S., & Kumar, K. (2020b). Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 385–401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>
- Birchfield, A. S., & McIntosh, C. A. (2020). Metabolic engineering and synthetic biology of plant natural products – A minireview. *Current Plant Biology*, 24(May), 100163. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100163>
- Bourke, P., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P. J., & Keener, K. (2018). The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Food Production. *Trends in Biotechnology*, 36(6), 615–626. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>
- Bursać Kovačević, D., Gajdoš Kljusurić, J., Putnik, P., Vukušić, T., Herceg, Z., & Dragović-Uzelac, V. (2016). Stability of polyphenols in chokeberry juice treated with gas phase plasma. *Food Chemistry*, 212, 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.192>
- Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Režek Jambrak, A., & Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.099>
- Cai, J. Q., Liu, X. M., Gao, Z. J., Li, L. L., & Wang, H. (2021). Chlorophylls derivatives: Photophysical properties, assemblies, nanostructures and biomedical applications. *Materials Today*, xxx(xx). <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.11.001>
- Campelo, P. H., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020a). Modulation of aroma and flavor using dielectric barrier discharge plasma technology in a juice rich in terpenes and sesquiterpenes. *Lwt*, 130(March), 109644.

- <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109644>
- Campelo, P. H., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020b). Modulation of aroma and flavor using glow discharge plasma technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62(March), 102363. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102363>
- Castro-Enríquez, D. D., Montañón-Leyva, B., Del Toro-Sánchez, C. L., Juárez-Onofre, J. E., Carvajal-Millan, E., Burrueal-Ibarra, S. E., Tapia-Hernández, J. A., Barreras-Urbina, C. G., & Rodríguez-Félix, F. (2020). Stabilization of betalains by encapsulation—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1587–1600. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04120-x>
- Castro, D. R. G., Mar, J. M., da Silva, L. S., da Silva, K. A., Sanches, E. A., de Araújo Bezerra, J., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2020). Improvement of the Bioavailability of Amazonian Juices Rich in Bioactive Compounds Using Glow Plasma Technique. *Food and Bioprocess Technology*, 13(4), 670–679. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02427-8>
- Chen, Y.-Q., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2020). Chemical, physical and physiological quality attributes of fruit and vegetables induced by cold plasma treatment: Mechanisms and application advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2676–2690. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1654429>
- Chizoba Ekezie, F.-G., Sun, D.-W., & Cheng, J.-H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 46–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007>
- Chizoba Ekezie, F. G., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007>
- Coy-Barrera, E. (2020). Chapter 17 - Analysis of betalains (betacyanins and betaxanthins). In A. Sanches Silva, S. F. Nabavi, M. Saeedi, & S. M. Nabavi (Eds.), *Recent Advances in Natural Products Analysis* (pp. 593–619). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816455-6.00017-2>
- da Silva, M. M., Paese, K., Guterres, S. S., Pohlmann, A. R., Rutz, J. K., Flores Cantillano, R. F., Nora, L., & Rios, A. de O. (2017). Thermal and ultraviolet–visible light stability kinetics of co-nanoencapsulated carotenoids. *Food and Bioprocess Processing*, 105, 86–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.05.004>

- da Silva, Y. F., Oliveira, R. N., & Simao, R. A. (2021). Hydrophobic waxes in ivory nuts affect surface modification by atmospheric air plasma jet. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(4), 12227–12237. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1222712237>
- de Castro, D. R. G., Mar, J. M., da Silva, L. S., da Silva, K. A., Sanches, E. A., de Araújo Bezerra, J., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2020). Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. *Food Research International*, 131(September 2019), 109044. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109044>
- Di Mascio, P., Kaiser, S., & Sies, H. (1989). Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 274(2), 532–538. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-9861\(89\)90467-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-9861(89)90467-0)
- Dobeic, M. (2018). The potential of cold plasma applications in food safety. *Meso*, 20(3), 213–218. <https://doi.org/10.31727/m.20.3.4>
- Domínguez, R., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Maggolino, A., Bohrer, B., & Lorenzo, J. M. (2020). Red beetroot. A potential source of natural additives for the meat industry. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(23), 1–22. <https://doi.org/10.3390/app10238340>
- Dong, X. Y., & Yang, Y. L. (2019). A Novel Approach to Enhance Blueberry Quality During Storage Using Cold Plasma at Atmospheric Air Pressure. *Food and Bioprocess Technology*, 12(8), 1409–1421. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02305-y>
- Dzimitrowicz, A., Jamroz, P., Cyganowski, P., Bielawska-Pohl, A., Klimczak, A., & Pohl, P. (2021). Application of cold atmospheric pressure plasmas for high-throughput production of safe-to-consume beetroot juice with improved nutritional quality. *Food Chemistry*, 336(March 2020), 127635. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127635>
- Ebrahimibasabi, E., Ebrahimi, A., Momeni, M., & Amerian, M. reza. (2020). Elevated expression of diosgenin-related genes and stimulation of the defense system in *Trigonella foenum-graecum* (Fenugreek) by cold plasma treatment. *Scientia Horticulturae*, 271(June), 109494. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109494>
- Ehlbeck, J., Schnabel, U., Polak, M., Winter, J., Von Woedtke, T., Brandenburg, R., Von Dem Hagen, T., & Weltmann, K. D. (2011). Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44(1). <https://doi.org/10.1088/0022-3727/44/1/013002>
- Elez Garofulić, I., Režek Jambrak, A., Milošević, S., Dragović-Uzelac, V., Zorić, Z., & Herceg, Z. (2015). The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry *Marasca* (*Prunus cerasus* var. *Marasca*) juice. *LWT - Food Science*

- and Technology*, 62(1), 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.036>
- Esquivel, P. (2016). 4 - Betalains. In R. Carle & R. M. Schweiggert (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 81–99). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00004-X>
- Farber, R., Dabush-Busheri, I., Chaniel, G., Rozenfeld, S., Bormashenko, E., Multanen, V., & Cahan, R. (2019). Biofilm grown on wood waste pretreated with cold low-pressure nitrogen plasma: Utilization for toluene remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 139(December 2018), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.03.003>
- Fernandes, F. A. N., Santos, V. O., & Rodrigues, S. (2019). Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. *Food Research International*, 115(July 2018), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.042>
- Fernández-López, J. A., Fernández-Lledó, V., & Angosto, J. M. (2020). New insights into red plant pigments: More than just natural colorants. *RSC Advances*, 10(41), 24669–24682. <https://doi.org/10.1039/d0ra03514a>
- Filatova, I., Lyushkevich, V., Goncharik, S., Zhukovsky, A., Krupenko, N., & Kalatskaja, J. (2020). The effect of low-pressure plasma treatment of seeds on the plant resistance to pathogens and crop yields. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(24). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab7960>
- Fridman, A., Gutsol, A., & Cho, Y. I. (2007). Non-thermal atmospheric pressure plasma. *Advances in Heat Transfer*, 40(C), 1–142. [https://doi.org/10.1016/S0065-2717\(07\)40001-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2717(07)40001-6)
- Fridman, Alexander, Gutsol, A., Gangoli, S., Ju, Y., & Ombrello, T. (2008). Characteristics of gliding arc and its application in combustion enhancement. *Journal of Propulsion and Power*, 24(6), 1216–1228. <https://doi.org/10.2514/1.24795>
- Fridman, Alexander, Nester, S., Kennedy, L. A., Saveliev, A., & Muta-Yardimci, O. (1999). *Pii: S0360-1285(98)00021-5*. 25, 211–231. https://ac.els-cdn.com/S0360128598000215/1-s2.0-S0360128598000215-main.pdf?_tid=e9c588df-19d4-4045-ae6c-548fd8c72c7b&acdnt=1540265995_69bf60e99884e6807e6fd93eda437c64
- Gan, Z., Feng, X., Hou, Y., Sun, A., & Wang, R. (2021). Cold plasma jet with dielectric barrier configuration: Investigating its effect on the cell membrane of *E. coli* and *S. cerevisiae* and its impact on the quality of chokeberry juice. *Lwt*, 136(P1), 110223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110223>

- Gao, X., Zhang, A., Héroux, P., Sand, W., Sun, Z., Zhan, J., Wang, C., Hao, S., Li, Z., Li, Z., Guo, Y., & Liu, Y. (2019). Effect of Dielectric Barrier Discharge Cold Plasma on Pea Seed Growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(39), 10813–10822. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03099>
- Han, Y. X., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2019). Changes in activity, structure and morphology of horseradish peroxidase induced by cold plasma. *Food Chemistry*, 301(July), 125240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125240>
- Hayes, M., & Ferruzzi, M. G. (2020). Update on the bioavailability and chemopreventative mechanisms of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 81, 19–37. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.010>
- Hermanns, A. S., Zhou, X., Xu, Q., Tadmor, Y., & Li, L. (2020). Carotenoid Pigment Accumulation in Horticultural Plants. *Horticultural Plant Journal*, 6(6), 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.10.002>
- Hertwig, C., Meneses, N., & Mathys, A. (2018). Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry food surfaces: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 131–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.011>
- Hosseini, S. M., Rostami, S., Hosseinzadeh Samani, B., & Lorigooini, Z. (2020). The effect of atmospheric pressure cold plasma on the inactivation of *Escherichia coli* in sour cherry juice and its qualitative properties. *Food Science and Nutrition*, 8(2), 870–883. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1364>
- Hou, Y., Wang, R., Gan, Z., Shao, T., Zhang, X., He, M., & Sun, A. (2019). Effect of cold plasma on blueberry juice quality. *Food Chemistry*, 290(October 2018), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.123>
- Iranbakhsh, A., Ardebili, N. O., Ardebili, Z. O., Shafaati, M., & Ghoranneviss, M. (2018). Non-thermal Plasma Induced Expression of Heat Shock Factor A4A and Improved Wheat (*Triticum aestivum* L.) Growth and Resistance Against Salt Stress. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 38(1), 29–44. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9861-3>
- Iranbakhsh, A., Oraghi Ardebili, Z., Oraghi Ardebili, N., Ghoranneviss, M., & Safari, N. (2018). Cold plasma relieved toxicity signs of nano zinc oxide in *Capsicum annuum* cayenne via modifying growth, differentiation, and physiology. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(8), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2730-8>
- Islam, S., Omar, F. B., Sajib, S. A., Roy, N. C., Reza, A., Hasan, M., Talukder, M. R., & Kabir, A. H. (2019). Effects of LPDBD Plasma and Plasma Activated Water on Germination and

- Growth in Rapeseed (*Brassica napus*). *Gesunde Pflanzen*, 71(3), 175–185. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00463-9>
- Jain, G., & Gould, K. S. (2015). Are betalain pigments the functional homologues of anthocyanins in plants? *Environmental and Experimental Botany*, 119, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.002>
- Janarny, G., Gunathilake, K. D. P. P., & Ranaweera, K. K. D. S. (2021). Nutraceutical potential of dietary phytochemicals in edible flowers—A review. *Journal of Food Biochemistry*, January, 1–20. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13642>
- Ji, S. H., Yoo, S., Choi, E. H., Kim, S. B., & Oh, J. (2020). Biochemical and molecular characterization of enhanced growth of *Panax ginseng* C. A. Meyer treated with atmospheric pressure plasma. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(49). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abad61>
- Ji, Y., Hu, W., Liao, J., Jiang, A., Xiu, Z., Gaowa, S., Guan, Y., Yang, X., Feng, K., & Liu, C. (2020). Effect of atmospheric cold plasma treatment on antioxidant activities and reactive oxygen species production in postharvest blueberries during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5586–5595. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10611>
- Jiang, J., He, X., Li, L., Li, J., Shao, H., Xu, Q., Ye, R., & Dong, Y. (2014). Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. *Plasma Science and Technology*, 16(1), 54–58. <https://doi.org/10.1088/1009-0630/16/1/12>
- Jiang, Y. H., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2020). Effects of plasma chemistry on the interfacial performance of protein and polysaccharide in emulsion. *Trends in Food Science and Technology*, 98(February), 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.009>
- Jose, J., Ramanujam, S., & Philip, L. (2019). Applicability of pulsed corona discharge treatment for the degradation of chloroform. *Chemical Engineering Journal*, 360(October 2018), 1341–1354. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.199>
- Jurić, S., Jurić, M., Król-Kilińska, Ż., Vlahoviček-Kahlina, K., Vinceković, M., Dragović-Uzelac, V., & Donsì, F. (2020). Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Reviews International*, 00(00), 1–56. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
- Kammerer, D. R. (2016). 3 - Anthocyanins. In R. Carle & R. M. Schweiggert (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 61–80). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00003-8>
- Khan, M. I. (2016). Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 316–

330. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12185>
- Koca, N., Karadeniz, F., & Burdurlu, H. S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100(2), 609–615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.079>
- Kogelschatz, U, Eliasson, B., Egli, W., Kogelschatz, U., Eliasson, B., & Principle, W. E. D. D. (1997). Dielectric-Barrier Discharges . Principle and Applications To cite this version : *Journal De Physique Iv*.
- Kogelschatz, Ulrich. (2003). *Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications*. 23(1), 1–46.
- Kuai, B., Chen, J., & Hörtensteiner, S. (2018). The biochemistry and molecular biology of chlorophyll breakdown. *Journal of Experimental Botany*, 69(4), 751–767. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx322>
- Kurek, M., Garofulić, I. E., Bakić, M. T., Šćetar, M., Uzelac, V. D., & Galić, K. (2018). Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 84(March), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.050>
- Lacombe, A., Niemira, B. A., Gurtler, J. B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., & Chen, H. (2015). Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiology*, 46, 479–484. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.010>
- Lanfer-Marquez, U. M. (2003). O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 39(3), 227–242. <https://doi.org/10.1590/s1516-93322003000300003>
- Larsson, A., Adelow, L., Elfsberg, M., & Hurtig, T. (2014). Experiments on gliding discharge configuration for plasma-assisted combustion. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 42(10), 3186–3190. <https://doi.org/10.1109/TPS.2014.2314310>
- Li, F., Chen, G., Zhang, B., & Fu, X. (2017). Current applications and new opportunities for the thermal and non-thermal processing technologies to generate berry product or extracts with high nutraceutical contents. *Food Research International*, 100(June), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.035>
- Li, L., Li, J., Shen, M., Hou, J., Shao, H., Dong, Y., & Jiang, J. (2016). Improving Seed Germination and Peanut Yields by Cold Plasma Treatment. *Plasma Science and Technology*, 18(10), 1027–1033. <https://doi.org/10.1088/1009-0630/18/10/10>
- Li, M., Li, X., Han, C., Ji, N., Jin, P., & Zheng, Y. (2019). Physiological and Metabolomic

- Analysis of Cold Plasma Treated Fresh-Cut Strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(14), 4043–4053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00656>
- Li, P., Feng, D., Yang, D., Li, X., Sun, J., Wang, G., Tian, L., Jiang, X., & Bai, W. (2021). Protective effects of anthocyanins on neurodegenerative diseases. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.005>
- Li, S., Dang, X., Yu, X., Abbas, G., Zhang, Q., & Cao, L. (2020). The application of dielectric barrier discharge non-thermal plasma in VOCs abatement: A review. *Chemical Engineering Journal*, 388(October 2019), 124275. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124275>
- Liao, X., Muhammad, A. I., Chen, S., Hu, Y., Ye, X., Liu, D., & Ding, T. (2019). Bacterial spore inactivation induced by cold plasma. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(16), 2562–2572. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1460797>
- Lin, Y. P., & Charng, Y. yung. (2021). Chlorophyll dephytylation in chlorophyll metabolism: a simple reaction catalyzed by various enzymes. *Plant Science*, 302(June 2020), 110682. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110682>
- López-Gámez, G., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2021). Enhancing carotenoid and phenolic contents in plant food matrices by applying non-thermal technologies: Bioproduction vs improved extractability. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 622–630. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.022>
- López, C. J., Caleja, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits. *Food Chemistry*, 264, 81–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.103>
- Lotfy, K. (2017). Cold Plasma Jet Construction to Use in Medical, Biology and Polymer Applications. *Journal of Modern Physics*, 08(11), 1901–1910. <https://doi.org/10.4236/jmp.2017.811113>
- Lu, P., Cullen, P. J., & Ostrikov, K. (2016). Chapter 4 - Atmospheric Pressure Nonthermal Plasma Sources. In N. N. Misra, O. Schlüter, & P. J. Cullen (Eds.), *Cold Plasma in Food and Agriculture* (pp. 83–116). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00004-4>
- Lu, Wang, Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant Activity and Healthy Benefits of Natural Pigments in Fruits: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
- Lu, Wei, Maidannyk, V. A., & Lim, A. S. L. (2020). 7 - Carotenoids degradation and

- precautions during processing. In C. M. Galanakis (Ed.), *Carotenoids: Properties, Processing and Applications* (pp. 223–258). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817067-0.00007-5>
- Lukić, K., Vukušić, T., Tomašević, M., Ćurko, N., Gracin, L., & Kovačević Ganić, K. (2019). The impact of high voltage electrical discharge plasma on the chromatic characteristics and phenolic composition of red and white wines. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 53(November 2017), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.004>
- Madadi, E., Mazloun-Ravasan, S., Yu, J. S., Ha, J. W., Hamishehkar, H., & Kim, K. H. (2020). Therapeutic application of betalains: A review. *Plants*, 9(9), 1–27. <https://doi.org/10.3390/plants9091219>
- Mahnot, N. K., Siyu, L. P., Wan, Z., Keener, K. M., & Misra, N. N. (2020). In-package cold plasma decontamination of fresh-cut carrots: Microbial and quality aspects. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(15). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab6cd3>
- Mani, J. S., Johnson, J. B., Hosking, H., Ashwath, N., Walsh, K. B., Neilsen, P. M., Broszczak, D. A., & Naiker, M. (2021). Antioxidative and therapeutic potential of selected Australian plants: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 268, 113580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113580>
- Maniglia, B. C., Castanha, N., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2021). Emerging technologies to enhance starch performance. *Current Opinion in Food Science*, 37, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.003>
- Manzoor, M., Singh, J., Gani, A., & Noor, N. (2021). Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, 362, 130141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130141>
- Mao, L., Mhaske, P., Zing, X., Kasapis, S., Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Cold plasma: Microbial inactivation and effects on quality attributes of fresh and minimally processed fruits and Ready-To-Eat vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 146–175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.002>
- McKay, K., Iza, F., & Kong, M. G. (2010). Excitation frequency effects on atmospheric-pressure helium RF microplasmas: Plasma density, electron energy and plasma impedance. *European Physical Journal D*, 60(3), 497–503. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2010-00191-7>
- Meléndez-Martínez, A. J. (2019). An Overview of Carotenoids, Apocarotenoids, and Vitamin A in Agro-Food, Nutrition, Health, and Disease. *Molecular Nutrition and Food Research*,

- 63(15), 1–11. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201801045>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M. P., Dias, M. G., Elgersma, A., Fikselová, M., García-Alonso, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V. S. S., Hornero-Méndez, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G. A., Mapelli-Brahm, P., ... O'Brien, N. (2020). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–51. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mapelli-Brahm, P., Benítez-González, A., & Stinco, C. M. (2015). A comprehensive review on the colorless carotenoids phytoene and phytofluene. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 572, 188–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.01.003>
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2016). Understanding the Role of Plasma Technology in Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 9(5), 734–750. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1699-9>
- Miraei Ashtiani, S. H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., Khojastehpour, M., Khani, M. R., Rohani, A., Shokri, B., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63(May), 102381. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
- Misra, N. N., Pankaj, S. K., Frias, J. M., Keener, K. M., & Cullen, P. J. (2015). The effects of nonthermal plasma on chemical quality of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.023>
- Misra, N. N., Tiwari, B. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Cullen, P. J. (2011). Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3(3–4), 159–170. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9>
- Misra, N. N., Yepez, X., Xu, L., & Keener, K. (2019). In-package cold plasma technologies. *Journal of Food Engineering*, 244(May 2018), 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.019>
- Moreau, E., Audier, P., & Benard, N. (2018). Ionic wind produced by positive and negative corona discharges in air. *Journal of Electrostatics*, 93(March), 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2018.03.009>
- Moreau, M., Orange, N., & Feuilleley, M. G. J. (2008). Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination. *Biotechnology Advances*, 26(6), 610–617.

- <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.08.001>
- Mortensen, A., & Skibsted, L. H. (1997). Importance of Carotenoid Structure in Radical-Scavenging Reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(8), 2970–2977. <https://doi.org/10.1021/jf970010s>
- Moutiq, R., Misra, N. N., Mendonça, A., & Keener, K. (2020). In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies. *Meat Science*, 159(July 2019), 107942. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107942>
- Naebe, M., Haque, A. N. M. A., & Haji, A. (2021). Plasma-assisted antimicrobial finishing of textiles: A review. *Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.01.011>
- Niemira, B. A. (2012). Cold Plasma Decontamination of Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 125–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Niemira, B. A. (2014). Chapter 18 - Decontamination of Foods by Cold Plasma. In D.-W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition)* (Second Edi, pp. 327–333). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00018-8>
- Norsuzila Ya'acob¹, Mardina Abdullah^{1, 2} and Mahamod Ismail^{1, 2}, Medina, M., Talarico, T. L., Casas, I. A., Chung, T. C., Dobrogosz, W. J., Axelsson, L., Lindgren, S. E., Dobrogosz, W. J., Kerkeni, L., Ruano, P., Delgado, L. L., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., & Masuelli, M. (1989). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. *Intech*, 32, 137–144.
- Nowacka, M., Dadan, M., Janowicz, M., Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D., Mandal, R., Pratap-Singh, A., & Janiszewska-Turak, E. (2021). Effect of nonthermal treatments on selected natural food pigments and color changes in plant material. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, March, 1–48. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12824>
- Ojha, S., Fröhling, A., Durek, J., Ehlbeck, J., Tiwari, B. K., Schlüter, O. K., & Bußler, S. (2021). Principles and Application of Cold Plasma in Food Processing. *Innovative Food Processing Technologies*, 1857, 519–540. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23033-3>
- Ozen, E., & Singh, R. K. (2020). Atmospheric cold plasma treatment of fruit juices: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.020>
- Paatre Shashikanthalu, S., Ramireddy, L., & Radhakrishnan, M. (2020). Stimulation of the germination and seedling growth of Cuminum cyminum L. seeds by cold plasma. *Journal*

- of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18(May), 100259.
<https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100259>
- Pathak, N., Grossi Bovi, G., Limnaios, A., Fröhling, A., Brincat, J. P., Taoukis, P., Valdramidis, V. P., & Schlüter, O. (2020). Impact of cold atmospheric pressure plasma processing on storage of blueberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8), 1–8.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14581>
- Pedrow, P., Hua, Z., Xie, S., & Zhu, M.-J. (2020). Chapter 1 - Engineering principles of cold plasma. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 3–48). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00001-3>
- Phan, K. T. K., Phan, H. T., Boonyawan, D., Intipunya, P., Brennan, C. S., Regenstein, J. M., & Phimolsiripol, Y. (2018). Non-thermal plasma for elimination of pesticide residues in mango. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48(December 2017), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.009>
- Pintea, A., Rugină, D., & Diaconeasa, Z. (2018). 4 - Pharmacologically Active Plant-Derived Natural Products. In G. Ciofani (Ed.), *Smart Nanoparticles for Biomedicine* (pp. 49–64). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814156-4.00004-5>
- Pires, E. O., Caleja, C., Garcia, C. C., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Current status of genus *Impatiens*: Bioactive compounds and natural pigments with health benefits. *Trends in Food Science & Technology*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.074>
- Putnik, P., Kresoja, Ž., Bosiljkov, T., Režek Jambrak, A., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Roohinejad, S., Granato, D., Žuntar, I., & Bursać Kovačević, D. (2019). Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. *Food Chemistry*, 279(July 2018), 150–161.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.131>
- Queiroz Zepka, L., Jacob-Lopes, E., & Roca, M. (2019). Catabolism and bioactive properties of chlorophylls. *Current Opinion in Food Science*, 26(Table 1), 94–100.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.04.004>
- Rahimi, P., Abedimanesh, S., Mesbah-Namin, S. A., & Ostadrahimi, A. (2019). Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(18), 2949–2978. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1479830>
- Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., & Rocculi, P. (2015a). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant

- activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.008>
- Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., & Rocculi, P. (2015b). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.008>
- Ranjitha Gracy, T. K., Gupta, V., & Mahendran, R. (2019). Influence of low-pressure nonthermal dielectric barrier discharge plasma on chlorpyrifos reduction in tomatoes. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–16. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13242>
- Ribeiro, J. S., & Veloso, C. M. (2021). Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids*, 112(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106374>
- Roca, M., Chen, K., & Pérez-Gálvez, A. (2016). 6 - Chlorophylls. In R. Carle & R. M. Schweiggert (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 125–158). Woodhead Publishing. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00006-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00006-3)
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2019). Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 124(March 2018), 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>
- Rodriguez-Amaya, D. B., & Carle, R. (2021). Chapter 7 - Alterations of natural pigments. In D. B. Rodriguez-Amaya & J. Amaya-Farfan (Eds.), *Chemical Changes During Processing and Storage of Foods* (pp. 265–327). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817380-0.00007-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817380-0.00007-5)
- Rodriguez-Concepcion, M., Avalos, J., Bonet, M. L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Mendez, D., Limon, M. C., Meléndez-Martínez, A. J., Olmedilla-Alonso, B., Palou, A., Ribot, J., Rodrigo, M. J., Zacarias, L., & Zhu, C. (2018). A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*, 70, 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>
- Roy, N. C., Hasan, M. M., Kabir, A. H., Reza, M. A., Talukder, M. R., & Chowdhury, A. N. (2018). Atmospheric pressure gliding arc discharge plasma treatments for improving germination, growth and yield of wheat. *Plasma Science and Technology*, 20(11). <https://doi.org/10.1088/2058-6272/aac647>

- Roy, N. C., Hasan, M. M., Talukder, M. R., Hossain, M. D., & Chowdhury, A. N. (2018). Prospective Applications of Low Frequency Glow Discharge Plasmas on Enhanced Germination, Growth and Yield of Wheat. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 38(1), 13–28. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9855-1>
- Saberi, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Zare, R., & Ghomi, H. (2020). Improvement of photosynthesis and photosynthetic productivity of winter wheat by cold plasma treatment under haze condition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(7), 1889–1904.
- Saberi, Mahin, Modarres-Sanavy, S. A. M., Zare, R., & Ghomi, H. (2018). Amelioration of Photosynthesis and Quality of Wheat under Non-thermal Radio Frequency Plasma Treatment. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30200-7>
- Sadilova, E., Carle, R., & Stintzing, F. C. (2007). Thermal degradation of anthocyanins and its impact on color and in vitro antioxidant capacity. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51(12), 1461–1471. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700179>
- Sahar, A., Rahman, U. U., Aadil, R. M., & Ishaq, A. (2019). Stabilization of Carotenoids in Foods. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 330–336). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21670-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21670-3)
- Sainz-García, E., López-Alfaro, I., Múgica-Vidal, R., López, R., Escribano-Viana, R., Portu, J., Alba-Elías, F., & González-Arenzana, L. (2019). Effect of the Atmospheric Pressure Cold Plasma Treatment on Tempranillo Red Wine Quality in Batch and Flow Systems. *Beverages*, 5(3), 50. <https://doi.org/10.3390/beverages5030050>
- Sakudo, A., Misawa, T., & Yagyu, Y. (2020). Chapter 10 - Equipment design for cold plasma disinfection of food products. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 289–307). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00010-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00010-4)
- Saleem, F., Harris, J., Zhang, K., & Harvey, A. (2020). Non-thermal plasma as a promising route for the removal of tar from the product gas of biomass gasification – A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 382(September 2019), 122761. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122761>
- Santos, L. C. O., Cubas, A. L. V., Moecke, E. H. S., Ribeiro, D. H. B., & Amante, E. R. (2018). Use of cold plasma to inactivate Escherichia coli and physicochemical evaluation in pumpkin puree. *Journal of Food Protection*, 81(11), 1897–1905. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-136>
- Scholtz, V., Pazlarova, J., Souškova, H., Khun, J., & Julak, J. (2015). Nonthermal plasma - A

- tool for decontamination and disinfection. *Biotechnology Advances*, 33(6), 1108–1119. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.002>
- Sharma, Shruti, & Singh, R. k. (2020). Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*, 102(May), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013>
- Sharma, Shweta, Katoch, V., Kumar, S., & Chatterjee, S. (2021). Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 92, 108615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108615>
- Sheteiwy, M. S., An, J., Yin, M., Jia, X., Guan, Y., He, F., & Hu, J. (2019). Correction to: Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of *Oryza sativa* seedlings (Protoplasma, (2019), 256, 1, (79-99), 10.1007/s00709-018-1279-0). *Protoplasma*, 256(1), 101–103. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1288-z>
- Silveira, M. R., Coutinho, N. M., Esmerino, E. A., Moraes, J., Fernandes, L. M., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Senaka Ranadheera, C., Borges, F. O., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Fernandes, F. A. N., Fonteles, T. V., Nazzaro, F., Rodrigues, S., & Cruz, A. G. (2019). Guava-flavored whey beverage processed by cold plasma technology: Bioactive compounds, fatty acid profile and volatile compounds. *Food Chemistry*, 279(December 2018), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.128>
- Singh, A. K., Rana, H. K., & Pandey, A. K. (2020). Analysis of chlorophylls. In *Recent Advances in Natural Products Analysis*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816455-6.00019-6>
- Slimen, I. B., Najar, T., & Abderrabba, M. (2017). Chemical and antioxidant properties of betalains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(4), 675–689. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04208>
- Solovchenko, A., Yahia, E. M., & Chen, C. (2019). Chapter 11 - Pigments. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 225–252). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00011-7>
- Sonar, C. R., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. S. (2019). Natural color pigments: oxidative stability and degradation kinetics during storage in thermally pasteurized vegetable purees. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5934–5945. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9868>

- Sruthi, N. U., Josna, K., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Gavahian, M., & Mousavi Khaneghah, A. (2022). Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 368, 130809. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130809>
- Starek, A., Pawlat, J., Chudzik, B., Kwiatkowski, M., Terebun, P., Sagan, A., & Andrejko, D. (2019). Evaluation of selected microbial and physicochemical parameters of fresh tomato juice after cold atmospheric pressure plasma treatment during refrigerated storage. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44946-1>
- Stegmaier, T., Dinkelmann, A., Von Arnim, V., & Rau, A. (2007). Corona and dielectric barrier discharge plasma treatment of textiles for technical applications. In *Plasma Technologies for Textiles: A Volume in Woodhead Publishing Series in Textiles*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845692575.1.129>
- Stinco, C. M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C. A., Inácio, R. S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Saraiva, J. A., & Meléndez-Martínez, A. J. (2019). Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry*, 299, 125112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125112>
- Sun, J., Tang, Y., & Li, S. (2020). Plasma-assisted stabilization of premixed swirl flames by gliding arc discharges. *Proceedings of the Combustion Institute*, 000, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.223>
- Sun, T., Yuan, H., Cao, H., Yazdani, M., Tadmor, Y., & Li, L. (2018). Carotenoid Metabolism in Plants: The Role of Plastids. *Molecular Plant*, 11(1), 58–74. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.09.010>
- Surowsky, B., Bußler, S., & Schlüter, O. K. (2016). Chapter 7 - Cold Plasma Interactions With Food Constituents in Liquid and Solid Food Matrices. In N. N. Misra, O. Schlüter, & P. J. Cullen (Eds.), *Cold Plasma in Food and Agriculture* (pp. 179–203). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00007-X>
- Tappi, S., Gozzi, G., Vannini, L., Berardinelli, A., Romani, S., Ragni, L., & Rocculi, P. (2016). Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.022>
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., & Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2–30. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2005.10.003>
- Thirumdas, R., Saragapani, C., Ajinkya, M. T., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016).

- Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 53–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.009>
- Tiya-Djowe, A., Acayanka, E., Mbouopda, A. P., Boyom-Tatchemo, W., Laminsi, S., & Gaigneaux, E. M. (2019). Producing oxide catalysts by exploiting the chemistry of gliding arc atmospheric plasma in humid air. *Catalysis Today*, 334(June 2018), 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.01.008>
- Turner, M. (2016). Physics of Cold Plasma. In *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00002-0>
- Umair, M., Jabbar, S., Lin, Y., Nasiru, M. M., Zhang, J., Abid, M., Murtaza, M. A., & Zhao, L. (2022). Comparative study: Thermal and non-thermal treatment on enzyme deactivation and selected quality attributes of fresh carrot juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 827–841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.15535>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Senan, A. M., Zhuang, H., & Zhang, J. (2020). Sequential Application of High-Voltage Electric Field Cold Plasma Treatment and Acid Blanching Improves the Quality of Fresh Carrot Juice (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(51), 15311–15318. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03470>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Sultana, T., Senan, A. M., Awad, F. N., Hong, Z., & Zhang, J. (2019). Exploring the potential of high-voltage electric field cold plasma (HVCP) using a dielectric barrier discharge (DBD) as a plasma source on the quality parameters of carrot juice. *Antibiotics*, 8(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8040235>
- Umair, M., Jabbar, S., Senan, A. M., Sultana, T., Nasiru, M. M., Shah, A. A., Zhuang, H., & Jianhao, Z. (2019). Influence of Combined Effect of Ultra-Sonication and High-Voltage Cold Plasma Treatment on Quality Parameters of Carrot Juice. In *Foods* (Vol. 8, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/foods8110593>
- Waghmare, R. (2021). Cold plasma technology for fruit based beverages: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 60–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.018>
- Wang, J., Zhu, T., Cai, Y. xi, Zhang, J. fei, & Wang, J. bo. (2020). Review on the recent development of corona wind and its application in heat transfer enhancement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152, 119545. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119545>

- Whitehead, J. C. (2016). The Chemistry of Cold Plasma. In *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00003-2>
- Wu, X., Zhao, W., Zeng, X., Zhang, Q. A., Gao, G., & Song, S. (2020). Effects of cold plasma treatment on cherry quality during storage. *Food Science and Technology International*, 1–15. <https://doi.org/10.1177/1082013220957134>
- Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., Emanuelli, T., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. Q., & Cervantes-Paz, B. (2017). Chemistry, Stability, and Biological Actions of Carotenoids. In *Fruit and Vegetable Phytochemicals* (pp. 285–346). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch15>
- Zhang, C., Shao, T., Xu, J., Ma, H., Duan, L., Ren, C., & Yan, P. (2012). A gliding discharge in open air sustained by high-voltage resonant ac power supply. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 40(11 PART1), 2843–2849. <https://doi.org/10.1109/TPS.2012.2208470>
- Zhang, H., Ma, D., Qiu, R., Tang, Y., & Du, C. (2017). Non-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review. *Chemical Engineering Journal*, 313, 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.067>
- Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 109, 232–249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>
- Zhu, H., Guo, L., Li, M., Jiang, Y., & Li, H. (2021). Comparison of spatial distribution of active substances and sterilization range generated by array of printed-circuit-board plasma jets. *Vacuum*, 184(December 2020), 109982. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109982>
- Zhu, Y., Li, C., Cui, H., & Lin, L. (2020). Feasibility of cold plasma for the control of biofilms in food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.001>

CAPÍTULO 2: EFEITO DO PLASMA FRIO NO TEOR DE CAROTENOIDES E COR INSTRUMENTAL DE SUCO DE CENOURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE

Danyelly Silva Amorim^a; Isabelly Silva Amorim^a; Renan Campos Chisté^b; Fabiano André Narciso Fernandes^c; Fabrício Batistin Zanatta^d; Helena Teixeira Godoy^a

^aDepartamento de Ciência de Alimentos e Nutrição, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 13083-862, Campinas, São Paulo, Brasil

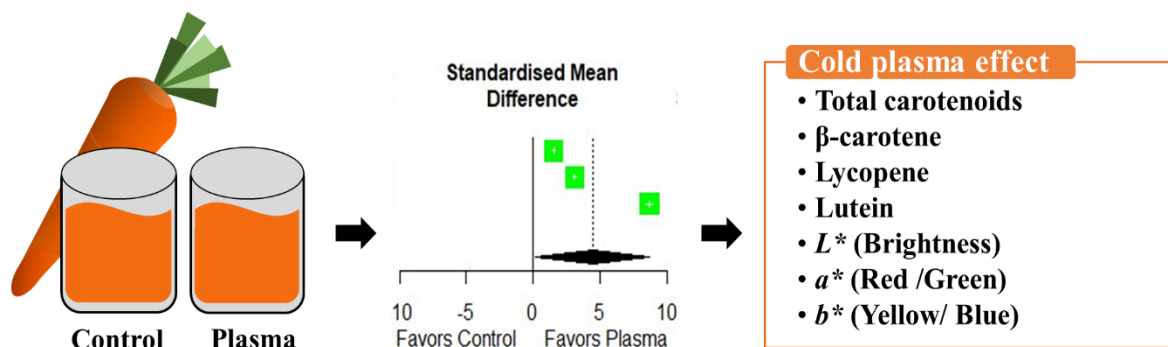
^bFaculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Instituto de Tecnologia (ITEC), Universidade Federal do Pará (UFPA), 66075-110, Belém, Pará, Brazil.

^cUniversidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Química, Campus do Pici, Bloco 709, 60440-900, Fortaleza – Ceará, Brasil.

^dUniversidade Federal de Santa Maria (UFSM), Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, 97105-900, Santa Maria – Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: danyellyamorimalimentos@gmail.com - ORCID - 0000-0003-1778-0704.

RESUMO GRÁFICO



RESUMO

O presente artigo traz um estudo de meta-análise sobre o efeito do plasma frio no conteúdo de carotenoides e cor instrumental de suco de cenoura. Uma revisão sistemática foi realizada nas bases MEDLINE (PubMed), Web of Science, Science Direct e Scopus. Após as etapas de triagem e elegibilidade, em 977 estudos, apenas cinco satisfizeram os critérios e foram incluídos na revisão sistemática, dos quais quatro na meta-análise. Os dados metanalisados com amostras de 2 a 3 kg de suco de cenoura demonstraram que o plasma frio, comparado ao controle (sem tratamento com plasma frio), resultou, num intervalo de confiança de 95%, em níveis significativamente maiores de carotenoides totais, com uma diferença média padronizada (SMD) de 4,45, para o licopeno um SMD de 3,63, para o β -caroteno um SMD de 0,86 e para luteína um SMD de 0,55. No suco de cenoura, após a extração dos carotenoides, foram observados os maiores teores para os seguintes protocolos de plasma vs tempo: carotenoides totais e luteína - 80Kv/4min; β -caroteno - 70Kv/3min; e licopeno - 60Kv/4min. Quanto a cor instrumental, não foram observadas diferenças significativas entre o controle e o tratamento com plasma nas coordenadas L^* , a^* , b^* . Portanto, o plasma frio mostrou impactar positivamente na manutenção dos carotenoides em suco de cenoura.

Palavras-chave: plasma frio; tratamento não térmico; carotenoides; suco de cenoura.

1 INTRODUÇÃO

O suco de cenoura, geralmente comercializado como bebida funcional, consiste em um dos principais produtos de processamento da cenoura, sendo associado a uma alimentação saudável, devido seu alto valor nutricional. Essa bebida é rica em fibras alimentares, vitaminas, minerais e compostos bioativos como os compostos fenólicos e os carotenoides (Liu et al.,

2019; Gouma et al., 2020). A sua composição em carotenoides consiste na presença majoritária de α -caroteno e β -caroteno, que são compostos com atividade provitamina A, mas também pode ser encontrado luteína e licopeno em sucos de cenoura preparados com variedades diferenciadas (Riganakos et al., 2017; Negri Rodríguez et al., 2021).

As etapas de processamento do suco de cenoura compreendem a sanitização e descascamento das cenouras, branqueamento para inibir o escurecimento enzimático do produto, extração do suco por diferentes técnicas, acidificação e processamento térmico para garantir a inibição/destruição de micro-organismos patogênicos e deteriorantes (Gouma et al., 2020). Os tratamentos térmicos convencionais (pasteurização e esterilização) são utilizados com o intuito de inativar as enzimas e os micro-organismos, afim de prolongar a vida útil do suco. Entretanto, o contato com altas temperaturas pode induzir alterações indesejáveis na cor do alimento, além da redução do conteúdo de compostos bioativos (Riganakos et al., 2017; Szczepańska et al., 2020; Negri Rodríguez et al., 2021). Nesse sentido, o processamento térmico do suco de cenoura resulta em alterações na coloração do produto, atributo este que é essencial para avaliar a qualidade dos alimentos em toda cadeia de produção, desde a colheita até a comercialização (Wu & Sun, 2013). Dessa forma, na decisão de compra, a coloração é o primeiro atributo sensorial avaliado, seguido da percepção do sabor e aroma (Stinco et al., 2019).

Devido à importância da manutenção da qualidade nutricional e sensorial nos alimentos processados, tecnologias mais brandas têm sido estudadas, como os tratamentos não térmicos, que associam a segurança dos alimentos com a retenção de componentes nutricionais, bem como alteração mínima nos atributos sensoriais característicos do alimento. Dentre estas tecnologias mais brandas consideradas emergentes, pode-se destacar o plasma frio que é um gás total ou parcialmente ionizado por diferentes tipos de energia (eletricidade, calor e ondas eletromagnéticas como rádio e micro-ondas). As espécies químicas formadas por essa ionização, como as espécies reativas de oxigênio (ROS), as espécies reativas de nitrogênio (RNS) e a radiação ultravioleta (UV), são considerados os principais agentes do plasma para inativação de patógenos (Sharma & Singh, 2020; Basak & Annapure, 2022). A tecnologia de plasma frio apresenta como vantagens o baixo custo de operação, não gerar resíduos tóxicos e apresentar equipamentos de baixa complexidade (Chizoba Ekezie et al., 2017; Farber et al., 2019; Zhu et al., 2020).

Nos últimos anos, foi observado um crescente interesse pelo estudo do efeito do plasma frio em carotenoides de matrizes vegetais (Fernandes et al., 2019; Ranjitha Gracy et al., 2019; Silveira et al., 2019; Umair et al., 2019, 2022). Nesse contexto, a meta-análise pode ser

realizada para combinar estudos e assim proporcionar melhoria na precisão, capacidade de responder perguntas que não foram respondidas em produtos primários, além de resolver controvérsias das repostas sobre o efeito do plasma (Deeks et al., 2019). Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática com meta-análise de estudos que avaliaram o efeito do plasma frio nos teores de carotenoides e na cor, utilizando o suco de cenoura como estudo de caso.

2 METODOLOGIA

2.1 Estratégias de busca

As seguintes bases de dados foram consultadas para coletar os artigos publicados de 1991 a 2022: PubMed, Web of Science, Science Direct, Scopus. Foi utilizada como literatura cinza, dados de trabalhos apresentados em congressos, palestras, revistas em geral, etc. A seguinte combinação de palavras foi utilizada para a busca de estudos relevantes: *cold plasma treatment* AND *carrot*. Para identificar artigos adicionais, a lista de referência dos artigos incluídos foi avaliada (Moher et al., 2010; Mousavi Khaneghah et al., 2018).

2.2 Critérios de elegibilidade dos estudos

Após a etapa de identificação dos estudos em cada base consultada, foi realizada a exclusão dos artigos duplicados com o auxílio do software Mendeley (v2.67.0). Na sequência, foi realizada a leitura de títulos e resumos de forma independente por dois revisores (DAS; ISA) para rastreio inicial dos estudos potencialmente elegíveis. Após, uma leitura dos textos completos foi realizada para confirmar ou não a elegibilidade dos estudos. Inconsistências ou dúvidas sobre a elegibilidade foram sanadas por um terceiro pesquisador (HTG).

Para ser elegível para a revisão sistemática, o estudo deveria ter avaliado o efeito do plasma frio (intervenção) sobre os níveis de carotenoides (desfecho), comparado a cenoura ou seus derivados sem tratamento com plasma frio (controle). Os artigos foram excluídos quando não atenderam a esses critérios.

2.3 Extração de dados

A extração de dados foi realizada por dois pesquisadores de forma independente (DAS; ISA). Os dados relevantes foram extraídos manualmente, organizados e armazenados em planilha (Microsoft Excel ®). Os dados extraídos de cada artigo, após a etapa de elegibilidade, foram: citação do artigo (estudo), n amostral da intervenção plasma (n_p),

concentração média de carotenoides totais, β -caroteno, licopeno e luteína, L^* , a^* , b^* da intervenção plasma, desvio padrão da intervenção plasma (sd_p), n amostral da intervenção controle (n_c), concentração média de carotenoides totais, β -caroteno, licopeno, luteína, L^* , a^* , b^* da intervenção controle, desvio padrão da intervenção controle (sd_c) e parâmetro operacional (protocolo), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Estudos incluídos na revisão sistemática de acordo com as características metodológicas e de resultados.

Estudo	Plasma Frio			Controle			
	n-p (grs)	média	sd-p	n-c (grs)	média	sd-c	protocolo
Carotenoides totais ($\mu\text{g/mL}$)							
Umair et al., 2020	1000	10,14	0,13	1000	9,09	0,11	80Kv/4min
Umair et al., 2022	1000	10,23	0,13	1000	9,97	0,20	70Kv/3min
Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019	1000	10,03	0,80	1000	8,22	0,20	60Kv/4min
β -caroteno ($\mu\text{g}/100\text{mL}$)							
Umair et al., 2022	1000	25,22	0,20	1000	25,02	0,11	70Kv/3min
Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019	1000	24,21	0,27	1000	24,11	0,10	60Kv/4min
Licopeno ($\mu\text{g/mL}$)							
Umair et al., 2020	1000	1,11	0,12	1000	0,64	0,14	80Kv/4min
Umair et al., 2022	1000	0,91	0,51	1000	0,69	0,88	70Kv/3min
Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019	1000	1,83	0,50	1000	0,52	0,10	60Kv/4min
Luteína ($\mu\text{g/mL}$)							
Umair et al., 2020	1000	1,53	0,12	1000	1,41	0,23	80Kv/4min
Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019	1000	1,56	0,90	1000	1,22	0,60	60Kv/4min
L^*							
Umair et al., 2022	1000	36,32	0,11	1000	36,01	0,14	70Kv/3min
Umair, Jabbar, Nasiru, et al., 2019	1000	33,76	0,33	1000	35,31	0,24	60Kv/4min

<i>a*</i>							
Umair et al., 2022	1000	18,58	0,20	1000	18,32	0,12	70Kv/3min
Umair, Jabbar,							
Nasiru, et al., 2019	1000	17,80	0,24	1000	19,53	0,22	60Kv&4min
<i>b*</i>							
Umair et al., 2022	1000	29,05	0,18	1000	29,28	0,14	70Kv/3min
Umair, Jabbar,							
Nasiru, et al., 2019	1000	26,35	0,22	1000	27,06	0,10	60Kv/4min

n-p: *n* amostral da intervenção plasma; sd-p: desvio padrão da intervenção plasma; n-c: *n* amostral da intervenção controle; sd-c: desvio padrão da intervenção controle.

2.4 Meta-análise

Por razões relacionadas ao pressuposto de similaridade ou homogeneidade clínico-metodológica, apenas estudos com matéria-prima e tipos de processamento de amostras semelhantes foram metanalisados. A meta-análise foi avaliada pelo modelo de efeitos aleatórios de DerSimonian e Laird (1986). Considerando que os parâmetros para aplicação do plasma frio variaram entre os estudos, as estimativas agregadas para as concentrações de carotenoides foram calculadas a partir da diferença média padronizada (SMD) e intervalos de confiança de 95%. Para fins de interpretação, a magnitude de efeito de acordo com a SMD é avaliada da seguinte forma: valores de -0,2 a 0,2 (efeito trivial ou sem efeito); valores de -0,5 a -0,2 ou 0,2 a 0,5 (efeito pequeno), -0,8 a -0,5 ou 0,5 a 0,8 (efeito moderado), ou < -0,8 ou >0,8 (efeito grande) (Schünemann et al., 2019). Para a cor instrumental, as meta-análises foram geradas de acordo com o tratamento aplicado. A heterogeneidade estatística foi avaliada pelo coeficiente I^2 , tendo sido definida como baixa ($I^2 < 25\%$), média ($25\% < I^2 < 50\%$) e alta ($I^2 > 50\%$) (DerSimonian & Laird, 1986). Os dados foram calculados com o auxílio do software R (versão 4.0.3) e Rstudio (versão 1.4.1106), pacote meta.

2.5 Viés de publicação

Não foi determinado o viés de publicação através de teste de assimetria gráfica ou estatística egger devido o reduzido número de estudos selecionados, que satisfaziam os critérios de elegibilidade, ocasionado pela carência de artigos nesse campo de estudo.

3 RESULTADOS

A etapa de identificação consistiu na busca de estudos nas bases de dados selecionadas, em que foram identificados 977 artigos, dos quais 17 estudos foram excluídos por estarem duplicados. Na etapa de triagem, os títulos e resumos foram examinados e 955 estudos foram excluídos por não utilizarem o processamento de plasma frio em cenouras ou produtos do processamento da cenoura, ou ainda por não avaliarem as concentrações de carotenoides das amostras. Para prevalência dos estudos, além das concentrações de carotenoides, o peso em gramas das amostras deveriam ser informadas, além do desvio padrão das concentrações. Na etapa seguinte, a elegibilidade dos estudos foi avaliada, dentre os estudos 4 aplicaram plasma frio em suco de cenoura e 1 em cenoura embalada. Sendo assim, o suco de cenoura foi selecionado para meta-análise mediante apresentação dos critérios de elegibilidade e por apresentar estudos suficientes para comparação dos resultados. Por fim, foram metanalisados os dados de concentração de carotenoides totais, β -caroteno, licopeno, luteína e valores para cor instrumental (L^* , a^* , b^*) de suco de cenoura, conforme Figura 1.

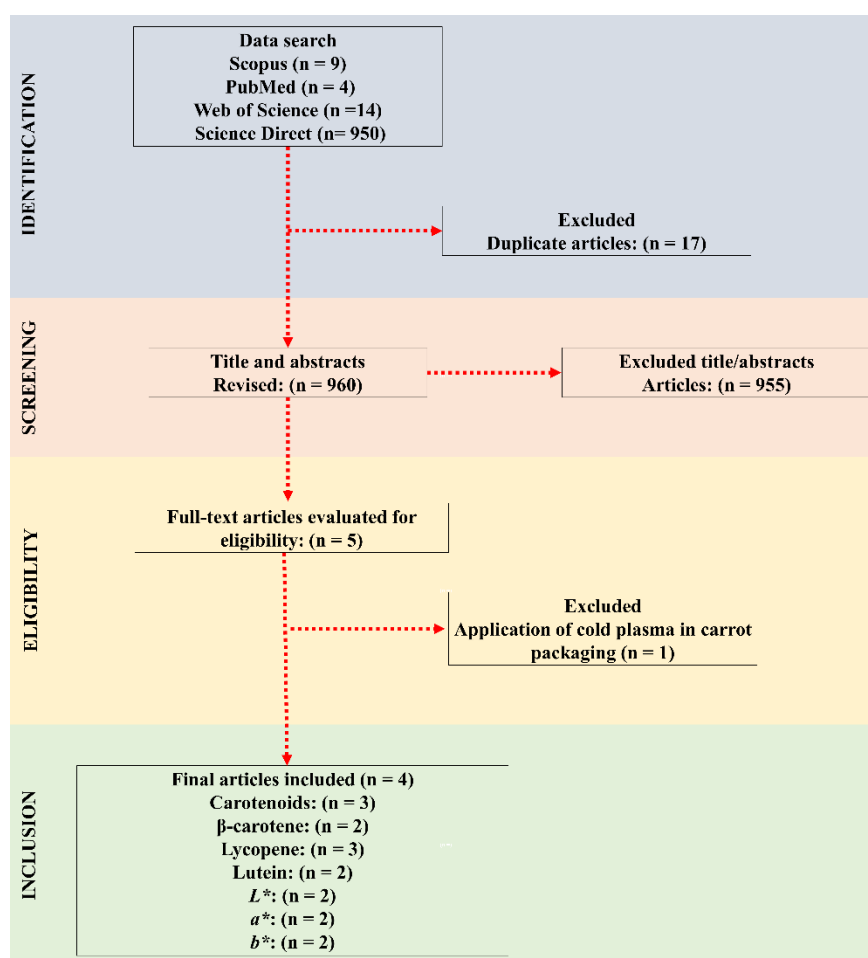


Figura 1. Fluxo de informações das fases da revisão sistemática.

Na Figura 2, pode se observar a meta-análise para os teores de carotenoides totais (2-A), β -caroteno (2-B), licopeno (2-C) e luteína (2-D). A aplicação do plasma frio produziu efeito significativamente maior do que o controle para todos os parâmetros analisados, demonstrado pelos maiores teores destes componentes nos sucos após tratamento com o plasma. Um tamanho de efeito grande ($SMD > 0,8$) foi observado para carotenoides totais ($SMD: 4,45$), licopeno ($SMD: 2,51$) e β -caroteno ($SMD: 0,86$), uma vez que para a intervenção plasma houve maior quantificação dos carotenoides avaliados. Já o tamanho de efeito para luteína foi moderado ($SMD: 0,55$).

Quanto aos desfechos da cor instrumental, apesar da aplicação do plasma frio reduzir levemente os valores de luminosidade (L^*) (média plasma: 35,02, média controle: 35,66), da componente a^* (média plasma: 18,19, média controle: 18,92) e da componente b^* (média plasma: 27,67; média controle: 28,15), ressalta-se que não foram observadas diferenças significativas entre ambos os tratamentos para nenhum dos parâmetros, o que mostra que o plasma frio não impacta significativamente ($p < 0,05$) na cor do suco de cenoura.

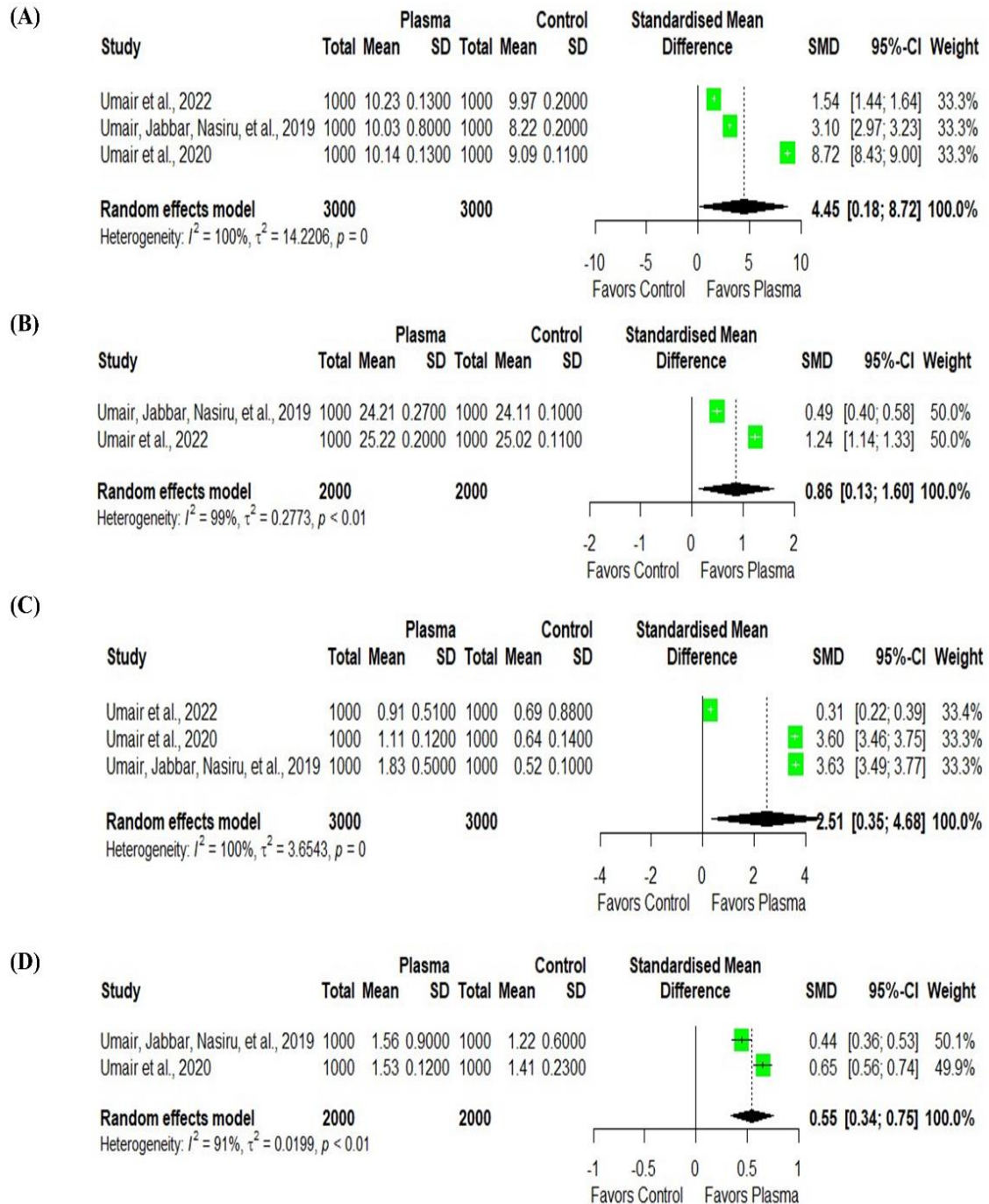


Figura 2. Gráfico de floresta da comparação de teores de pigmentos entre sucos de cenoura dos grupos, plasma frio e controle. A: carotenoides totais. B: β -caroteno. C: licopeno. D: luteína. IC: intervalo de confiança. SMD: diferença média padronizada. I^2 : heterogeneidade estatística. SMD de -0,2 a 0,2 (trivial ou nenhum efeito), -0,5 a -0,2 ou 0,2 a 0,5 (efeito pequeno), -0,8 a -0,5 ou 0,5 a 0,8 (efeito moderado), ou $< -0,8$ ou $> 0,8$ (efeito grande).

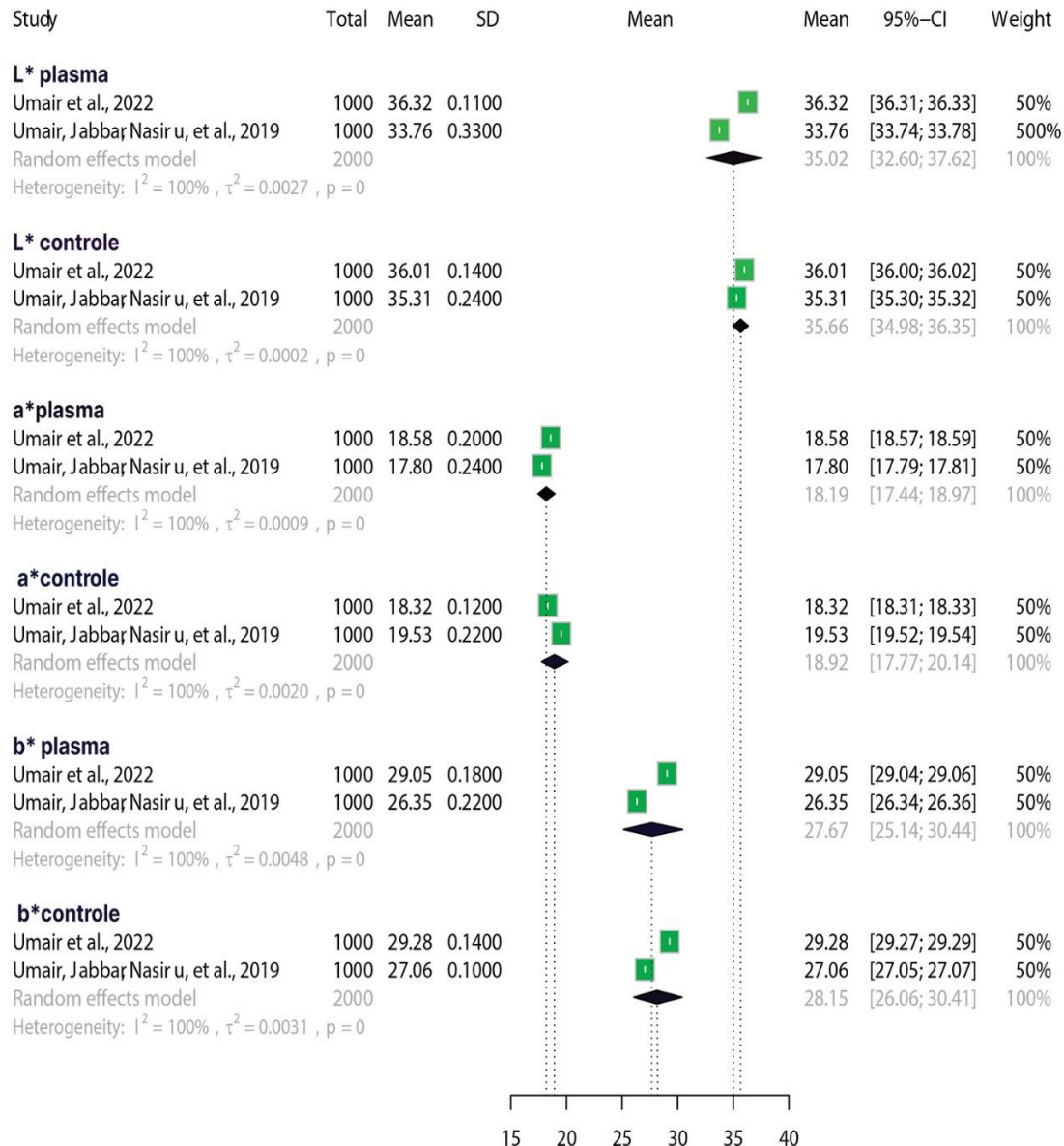


Figura 3. Gráfico de floresta da comparação da cor instrumental entre sucos de cenoura dos grupos, plasma frio e controle. A: L^* : luminosidade (+ L^* = mais claro; - L^* = mais escuro). B: a^* : (+ a^* = mais vermelho; - a^* = mais verde). C: b^* : (+ b^* = mais amarelo; - b^* = mais azul). IC: intervalo de confiança.

4 DISCUSSÃO

Essa revisão propôs determinar o efeito do tratamento não-térmico com plasma frio no processamento de sucos de cenoura, e foi possível observar que o plasma frio apresentou um comportamento favorável na concentração de carotenoides: carotenoides totais (SMD: 8,72) > licopeno (SMD: 3,63) > β -caroteno (SMD: 1,24) > luteína (SMD: 0,65), dado pela análise dos valores de SMD que indicam o tamanho do efeito da intervenção plasma. Para os carotenoides encontrados os protocolos que obtiveram efeitos mais perceptíveis nos sucos de cenoura foram:

80Kv/4min (carotenoides totais), 60Kv/4min (licopeno), 70Kv/3min (β -caroteno) e 80Kv/4min (luteína). Portanto, uma maior tendência de retenção dos pigmentos foi obtida para os protocolos com maior voltagem. O aumento dos teores de carotenoides mediante aplicação do plasma é explicado por Umair et al. (2020), que propõem que esse comportamento se dá, provavelmente, pela interação das espécies reativas geradas no plasma com o material vegetal, influenciando na liberação dos carotenoides (da Silva et al., 2017; Yahia et al., 2017). Neste caso, o plasma frio possui a capacidade de romper as membranas celulares dos cloroplastos, liberando assim os pigmentos e consequentemente aumentando seu conteúdo no meio extracelular. No suco de cenoura controle, provavelmente alguns carotenoides estavam contidos no interior das partículas de cenoura em suspensão após o preparo, e após o tratamento com o plasma frio as moléculas de carotenoides migraram para o meio líquido com maior facilidade, explicando o aumento do teor de carotenoides após o tratamento.

Esse fato pode ser corroborado por estudos com resultados semelhantes após a aplicação do plasma frio no suco de acerola (Fernandes et al. 2019), bebida de soro de leite com sabor de goiaba (Silveira et al., 2019), polpa de abacate (Batista et al., 2021). Os autores propõem que as espécies reativas podem reagir quebrando a ligação entre as moléculas de carotenoides e as membranas celulares, assim aumentando o conteúdo de carotenoides no meio extracelular, também, que esse comportamento pode ocorrer pela eletroporação das membranas celulares, devido ao tratamento com plasma frio.

Os carotenoides fazem parte da constituição de inúmeros alimentos *in natura*, especialmente frutas e vegetais e também em produtos processados derivados. São pigmentos que possuem funções biológicas importantes na saúde humana, como a ação precursora na síntese de retinol (vitamina A) atribuída a algumas moléculas, e é considerado um micronutriente responsável pela manutenção das funções da visão, respostas imunológicas e reprodução (Meléndez-Martínez, 2019). Nesse contexto, a cenoura é considerada uma fonte de fitoquímicos como α - e β -caroteno, vitamina E e antocianinas, sendo este último encontrado em variedades de cenoura de coloração roxa (Žary-Sikorska et al., 2019). A retenção desses fitoquímicos durante o processamento do vegetal é essencial para a manutenção dos benefícios à saúde, associados à ingestão desses compostos bioativos (Nagraj et al., 2020; Šeregelj et al., 2020).

No que diz respeito à cor instrumental, o tratamento do suco de cenoura com o plasma frio não promoveu redução significativa nos valores de cor instrumental. A disposição de redução da cor no suco de cenoura pode estar relacionada à interação das espécies oxidantes do plasma com a diminuição do número de ligações duplas conjugadas presentes nas cadeias

poliênicas dos carotenoides (Mahnot et al., 2020). Somado a isso, as doses baixas de luz UV presentes no plasma podem atuar na degradação dos carotenoides pela formação de oxigênio singlete, por meio dos compostos biológicos na presença de luz. Posteriormente, o oxigênio singlete liga-se à cadeia de hidrocarbonetos dos carotenoides, levando à sua degradação (da Silva et al., 2017; Yahia et al., 2017). Ainda que o plasma frio tenha aumentado a extração dos pigmentos, não houve aumento no valor das componentes, vermelha (a^{*+}) e amarela (b^{*+}), e isso ocorreu, pois, a cor instrumental pode ser influenciada pela presença de outros compostos presentes na matriz alimentícia. De uma forma geral, observou-se alta heterogeneidade estatística nas estimativas, oriunda provavelmente das variabilidades dos parâmetros usados nos estudos primários.

5 CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo mostraram que o tratamento de suco de cenoura com plasma frio possui efeito favorável nos carotenoides, seguindo uma tendência de retenção dos pigmentos em maiores voltagens aplicadas durante o processamento. Adicionalmente, o tratamento com o plasma frio não impacta os parâmetros de cor instrumental significativamente ($p>0,05$). Dessa forma, o plasma frio pode ser uma alternativa para redução dos efeitos térmicos indesejáveis sobre o conteúdo de carotenoides e percepção de cor de suco de cenoura. Dada a limitação relacionada a pouca quantidade de estudos primários, fazem-se necessários mais estudos sobre o efeito do plasma frio nos carotenoides de suco de cenoura, bem como em outras matrizes vegetais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Projetos 408181/2021-4 e 314929/2021-5) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código de financiamento 001), pelo apoio financeiro por meio de bolsas de mestrado.

REFERÊNCIAS

- Basak, S., & Annapure, U. S. (2022). Impact of atmospheric pressure cold plasma on the rheological and gelling properties of high methoxyl apple pectin. *Food Hydrocolloids*, 107639. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107639>
- Batista, J. D. F., Dantas, A. M., dos Santos Fonseca, J. V., Madruga, M. S., Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., & da Silva Campelo Borges, G. (2021). Effects of cold plasma on

- avocado pulp (*Persea americana* Mill.): Chemical characteristics and bioactive compounds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15179>
- Chizoba Ekezie, F. G., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007>
- da Silva, M. M., Paese, K., Guterres, S. S., Pohlmann, A. R., Rutz, J. K., Flores Cantillano, R. F., Nora, L., & Rios, A. de O. (2017). Thermal and ultraviolet–visible light stability kinetics of co-nanoencapsulated carotenoids. *Food and Bioprocesses*, 105, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.05.004>
- DerSimonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 7(3), 177–188. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(86\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0197-2456(86)90046-2)
- Farber, R., Dabush-Busheri, I., Chaniel, G., Rozenfeld, S., Bormashenko, E., Multanen, V., & Cahan, R. (2019). Biofilm grown on wood waste pretreated with cold low-pressure nitrogen plasma: Utilization for toluene remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 139(December 2018), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.03.003>
- Fernandes, F. A. N., Santos, V. O., & Rodrigues, S. (2019). Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. *Food Research International*, 115(February 2018), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.042>
- Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2021). Micro and Nanoencapsulation of Natural Colors: a Holistic View. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(11), 3787–3811. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03631-8>
- Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2022). Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. *LWT*, 153, 112527. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112527>
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102362. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362>
- Jurić, S., Jurić, M., Król-Kilińska, Ż., Vlahoviček-Kahlina, K., Vinceković, M., Dragović-Uzelac, V., & Donsì, F. (2020). Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Reviews International*, 00(00), 1–56. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>

- Liu, X., Liu, J., Bi, J., Yi, J., Peng, J., Ning, C., Wellala, C. K. D., & Zhang, B. (2019). Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Carbohydrate Polymers*, 203, 176–184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.055>
- Mahnot, N. K., Siyu, L. P., Wan, Z., Keener, K. M., & Misra, N. N. (2020). In-package cold plasma decontamination of fresh-cut carrots: Microbial and quality aspects. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(15). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab6cd3>
- Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, &. (2010). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Mousavi Khaneghah, A., Fakhri, Y., & Sant'Ana, A. S. (2018). Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and zearalenone: A systematic review and meta-analysis. *Food Chemistry*, 268, 611–624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.072>
- Nagraj, G. S., Jaiswal, S., Harper, N., & Jaiswal, A. K. (2020). Chapter 20 - Carrot. In A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 323–337). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9>
- Negri Rodríguez, L. M., Arias, R., Soteras, T., Sancho, A., Pesquero, N., Rossetti, L., Tacca, H., Aimaretti, N., Rojas Cervantes, M. L., & Szerman, N. (2021). Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment. *LWT*, 145, 111255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>
- Ortuzar, J., Martinez, B., Bianchini, A., Stratton, J., Rupnow, J., & Wang, B. (2018). Quantifying changes in spore-forming bacteria contamination along the milk production chain from farm to packaged pasteurized milk using systematic review and meta-analysis. *Food Control*, 86, 319–331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.038>
- Ranjitha Gracy, T. K., Gupta, V., & Mahendran, R. (2019). Influence of low-pressure nonthermal dielectric barrier discharge plasma on chlorpyrifos reduction in tomatoes. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–16. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13242>
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., & Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42(June), 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.015>
- Schünemann, H., Vist, G., Higgins, J., Santesso, N., Deeks, J., Glasziou, P., E, A., Guyatt, G.,

- & Groups, on behalf of C. Grade. M. (2019). *Chichester (UK): Wiley-Blackwell* (J. Higgins, J. Thomas, R. Churchill, J. Chandler, & M. Cumpston (eds.)). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.0. <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-15>
- Šeregelj, V., Vulić, J., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Tumbas Šaponjac, V., & Stajčić, S. (2020). Chapter 9 - Natural bioactive compounds in carrot waste for food applications and health benefits. In Atta-ur-Rahman (Ed.), *Bioactive Natural Products* (Vol. 67, pp. 307–344). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819483-6.00009-6>
- Sharma, S., & Singh, R. k. (2020). Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*, 102(March), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013>
- Silveira, M. R., Coutinho, N. M., Esmerino, E. A., Moraes, J., Fernandes, L. M., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Senaka Ranadheera, C., Borges, F. O., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Fernandes, F. A. N., Fonteles, T. V., Nazzaro, F., Rodrigues, S., & Cruz, A. G. (2019). Guava-flavored whey beverage processed by cold plasma technology: Bioactive compounds, fatty acid profile and volatile compounds. *Food Chemistry*, 279(December 2018), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.128>
- Spence, C. (2015). On the psychological impact of food colour. *Flavour*, 4(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0031-3>
- Szczepańska, J., Barba, F. J., Skąpska, S., & Marszałek, K. (2020). High pressure processing of carrot juice: Effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour. *Food Chemistry*, 307, 125549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125549>
- Umair, M., Jabbar, S., Lin, Y., Nasiru, M. M., Zhang, J., Abid, M., Murtaza, M. A., & Zhao, L. (2022). Comparative study: Thermal and non-thermal treatment on enzyme deactivation and selected quality attributes of fresh carrot juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 827–841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.15535>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Senan, A. M., Zhuang, H., & Zhang, J. (2020). Sequential Application of High-Voltage Electric Field Cold Plasma Treatment and Acid Blanching Improves the Quality of Fresh Carrot Juice (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(51), 15311–15318. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03470>
- Umair, M., Jabbar, S., Senan, A. M., Sultana, T., Nasiru, M. M., Shah, A. A., Zhuang, H., & Jianhao, Z. (2019). Influence of Combined Effect of Ultra-Sonication and High-Voltage

- Cold Plasma Treatment on Quality Parameters of Carrot Juice. In *Foods* (Vol. 8, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/foods8110593>
- Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., Emanuelli, T., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. Q., & Cervantes-Paz, B. (2017). Chemistry, Stability, and Biological Actions of Carotenoids. In *Fruit and Vegetable Phytochemicals* (pp. 285–346). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch15>
- Żary-Sikorska, E., Fotschki, B., Fotschki, J., Wiczkowski, W., & Juśkiewicz, J. (2019). Preparations from purple carrots containing anthocyanins improved intestine microbial activity, serum lipid profile and antioxidant status in rats. *Journal of Functional Foods*, 60, 103442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103442>
- Zhou, X., Qin, B., Del Giovane, C., Pan, J., Gentile, S., Liu, Y., Lan, X., Yu, J., & Xie, P. (2015). Efficacy and tolerability of antidepressants in the treatment of adolescents and young adults with depression and substance use disorders: a systematic review and meta-analysis. *Addiction (Abingdon, England)*, 110(1), 38–48. <https://doi.org/10.1111/add.12698>
- Zhu, Y., Li, C., Cui, H., & Lin, L. (2020). Feasibility of cold plasma for the control of biofilms in food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.001>

DISCUSSÃO GERAL

A partir da revisão de literatura realizada observou-se que as espécies reativas formadas no plasma atuam na quebra das membranas celulares e promovem danos aos locais de armazenamento dos pigmentos. Silveira et al. (2019) elucidam que as espécies químicas ativas do plasma possivelmente afetam a estrutura supramolecular das proteínas, o que permite a liberação dos pigmentos tornando-os mais disponíveis no meio extracelular. A ruptura da parede celular do vegetal permite a penetração do solvente nos compartimentos celulares facilitando a solubilização e a extração desses compostos bioativos (Bursać Kovačević et al., 2016).

No entanto, os pigmentos podem ser degradados por um aumento no tempo de tratamento com plasma, devido provavelmente a degradação oxidativa das moléculas dos pigmentos. Os pigmentos podem absorver energia das espécies reativas do plasma e assumir uma forma altamente instável e passar por reações propagativas para alcançar a estabilidade, gerando assim produtos de degradação (Ranjitha Gracy et al., 2019). Outro parâmetro a ser observado é a frequência de excitação do plasma, uma vez que em altas frequências de excitação há aumento de densidade de energia dos íons e elétrons, além de produzirem maiores teores de ozônio ou radicais livres (McKay et al., 2010; Sadilova et al., 2007).

A meta-análise demonstrou que o plasma produziu efeito significativamente maior que o controle para todos os parâmetros de carotenoides, esse resultado corrobora com os dados obtidos no capítulo 1. Um tamanho de efeito grande foi observado para carotenoides totais, licopeno e β -caroteno. Já o tamanho de efeito para luteína foi moderado. No que diz respeito a cor instrumental, o plasma promoveu redução nos valores de cor instrumental. Ainda que o plasma tenha aumentado a extração dos pigmentos, não houve maior percepção das colorações vermelha (a^{*+}) e amarela (b^{*+}), isso é explicado pelo fato de a cor instrumental avaliar a interação dos carotenoides com os demais componentes químicos do alimento, não apenas o pigmento isolado.

CONCLUSÃO GERAL

Na última década foi possível observar o aumento de pesquisas que objetivam avaliar a influência do plasma frio na qualidade de alimentos. Em conclusão a avaliação do efeito do plasma em pigmentos, notou-se que o plasma pode romper as membranas celulares e promover danos aos locais de armazenamento de pigmentos, assim liberando os pigmentos e consequentemente aumentando seu conteúdo no espaço extracelular. No entanto, à medida que se aumenta o período de tratamento com o plasma estes pigmentos podem sofrer degradação oxidativa, o que explica os resultados de diminuição de pigmentos relatados na literatura.

Os resultados da meta-análise elucidaram que o plasma possui efeito favorável nos carotenoides de suco de cenoura, seguindo uma tendência de retenção dos pigmentos em maiores voltagens de processamento. Portanto, a meta-análise foi capaz de sintetizar os achados do efeito do plasma na coloração de suco de cenoura, além de indicar quais protocolos causaram efeitos positivos e negativos. Entretanto, a meta-análise foi realizada com poucos experimentos, o que salienta a necessidade de mais estudos que abordem essa temática.

REFERÊNCIAS

- Adelodun, A. A. (2020). Influence of Operation Conditions on the Performance of Non-thermal Plasma Technology for VOC Pollution Control. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 92, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.026>
- Albuquerque, B. R., Pinela, J., Barros, L., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Anthocyanin-rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product. *Food Chemistry*, 316, 126364. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126364>
- Almarashi, J. Q. M., El-Zohary, S. E., Ellabban, M. A., & Abomohra, A. E. F. (2020). Enhancement of lipid production and energy recovery from the green microalga *Chlorella vulgaris* by inoculum pretreatment with low-dose cold atmospheric pressure plasma (CAPP). *Energy Conversion and Management*, 204(September 2019), 112314. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112314>
- Alvarez-Suarez, J. M., Cuadrado, C., Redondo, I. B., Giampieri, F., González-Paramás, A. M., & Santos-Buelga, C. (2021). Novel approaches in anthocyanin research - Plant fortification and bioavailability issues. *Trends in Food Science and Technology*, January. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.049>
- Alves Filho, E. G., de Brito, E. S., & Rodrigues, S. (2020). Chapter 8 - Effects of cold plasma processing in food components. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 253–268). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00008-6>
- Amanpour, A., Vandamme, J., Polat, S., Kelebek, H., Van Durme, J., & Selli, S. (2019). Non-thermal plasma effects on the lipoxygenase enzyme activity, aroma and phenolic profiles of olive oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54(April), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.04.004>
- Ansari, M., Sharifian, M., Ehrampoush, M. H., Mahvi, A. H., Salmani, M. H., & Fallahzadeh, H. (2021). Dielectric barrier discharge plasma with photocatalysts as a hybrid emerging technology for degradation of synthetic organic compounds in aqueous environments: A critical review. *Chemosphere*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128065>
- Arcanjo, M., Montanyà, J., Urbani, M., Lorenzo, V., & Pineda, N. (2021). Observations of corona point discharges from grounded rods under thunderstorms. *Atmospheric Research*, 247(February 2020), 105238. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105238>
- Asaithambi, N., Singh, S. K., & Singha, P. (2021). Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 303, 110567.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110567>
- Basak, S., & Annapure, U. S. (2022). Impact of atmospheric pressure cold plasma on the rheological and gelling properties of high methoxyl apple pectin. *Food Hydrocolloids*, 107639. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107639>
- Batista, J. D. F., Dantas, A. M., dos Santos Fonseca, J. V., Madruga, M. S., Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., & da Silva Campelo Borges, G. (2021). Effects of cold plasma on avocado pulp (*Persea americana* Mill.): Chemical characteristics and bioactive compounds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15179>
- Benevides, C. M. D. J., Veloso, M. C. D. C., De Paula Pereira, P. A., & Andrade, J. B. De. (2011). A chemical study of β -carotene oxidation by ozone in an organic model system and the identification of the resulting products. *Food Chemistry*, 126(3), 927–934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.082>
- Beyrer, M., Pina-Perez, M. C., Martinet, D., & Andlauer, W. (2020). Cold plasma processing of powdered *Spirulina* algae for spore inactivation and preservation of bioactive compounds. *Food Control*, 118(May), 107378. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107378>
- Bhargava, N., Sharanagat, V. S., Mor, R. S., & Kumar, K. (2020). Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 105(July), 385–401. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>
- Bhattacharjee, C., Saxena, V. K., & Dutta, S. (2019). Novel thermal and non-thermal processing of watermelon juice. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 234–243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.015>
- Birchfield, A. S., & McIntosh, C. A. (2020). Metabolic engineering and synthetic biology of plant natural products – A minireview. *Current Plant Biology*, 24(May), 100163. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100163>
- Bourke, P., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P. J., & Keener, K. (2018). The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Food Production. *Trends in Biotechnology*, 36(6), 615–626. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>
- Bursać Kovačević, D., Gajdoš Kljusurić, J., Putnik, P., Vukušić, T., Herceg, Z., & Dragović-Uzelac, V. (2016). Stability of polyphenols in chokeberry juice treated with gas phase plasma. *Food Chemistry*, 212, 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.192>
- Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Režek Jambrak, A., &

- Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.099>
- Cai, J. Q., Liu, X. M., Gao, Z. J., Li, L. L., & Wang, H. (2021). Chlorophylls derivatives: Photophysical properties, assemblies, nanostructures and biomedical applications. *Materials Today*, xxx(xx). <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.11.001>
- Campelo, P. H., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020). Modulation of aroma and flavor using dielectric barrier discharge plasma technology in a juice rich in terpenes and sesquiterpenes. *Lwt*, 130(March), 109644. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109644>
- Campelo, P. H., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., de Brito, E. S., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020). Modulation of aroma and flavor using glow discharge plasma technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62(March), 102363. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102363>
- Castro, D. R. G., Mar, J. M., da Silva, L. S., da Silva, K. A., Sanches, E. A., de Araújo Bezerra, J., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2020). Improvement of the Bioavailability of Amazonian Juices Rich in Bioactive Compounds Using Glow Plasma Technique. *Food and Bioprocess Technology*, 13(4), 670–679. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02427-8>
- Castro-Enríquez, D. D., Montañó-Leyva, B., Del Toro-Sánchez, C. L., Juárez-Onofre, J. E., Carvajal-Millan, E., Burrueal-Ibarra, S. E., Tapia-Hernández, J. A., Barreras-Urbina, C. G., & Rodríguez-Félix, F. (2020). Stabilization of betalains by encapsulation—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1587–1600. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04120-x>
- Chen, Y.-Q., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2020). Chemical, physical and physiological quality attributes of fruit and vegetables induced by cold plasma treatment: Mechanisms and application advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2676–2690. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1654429>
- Chizoba Ekezie, F. G., Sun, D. W., & Cheng, J. H. (2017). A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.007>
- Coy-Barrera, E. (2020). Chapter 17 - Analysis of betalains (betacyanins and betaxanthins). In A. Sanches Silva, S. F. Nabavi, M. Saeedi, & S. M. Nabavi (Eds.), *Recent Advances in Natural Products Analysis* (pp. 593–619). Elsevier.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816455-6.00017-2>
- da Silva, M. M., Paese, K., Guterres, S. S., Pohlmann, A. R., Rutz, J. K., Flores Cantillano, R. F., Nora, L., & Rios, A. de O. (2017). Thermal and ultraviolet–visible light stability kinetics of co-nanoencapsulated carotenoids. *Food and Bioproducts Processing*, 105, 86–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.05.004>
- da Silva, Y. F., Oliveira, R. N., & Simao, R. A. (2021). Hydrophobic waxes in ivory nuts affect surface modification by atmospheric air plasma jet. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(4), 12227–12237. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1222712237>
- de Castro, D. R. G., Mar, J. M., da Silva, L. S., da Silva, K. A., Sanches, E. A., de Araújo Bezerra, J., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2020). Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. *Food Research International*, 131(September 2019), 109044. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109044>
- de Souza, V. R., Popović, V., Bissonnette, S., Ros, I., Mats, L., Duizer, L., Warriner, K., & Koutchma, T. (2020). Quality changes in cold pressed juices after processing by high hydrostatic pressure, ultraviolet-c light and thermal treatment at commercial regimes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 64, 102398. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102398>
- Deeks, J., Higgins, J., & Altman, D. (2019). Chapter 10: Analysing data and undertaking meta-analyses. In & M. C. J. Higgins, J. Thomas, R. Churchill, J. Chandler (Ed.), *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.0*. <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-10>
- DerSimonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 7(3), 177–188. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(86\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0197-2456(86)90046-2)
- Di Mascio, P., Kaiser, S., & Sies, H. (1989). Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 274(2), 532–538. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-9861\(89\)90467-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-9861(89)90467-0)
- Dobeic, M. (2018). The potential of cold plasma applications in food safety. *Meso*, 20(3), 213–218. <https://doi.org/10.31727/m.20.3.4>
- Domínguez, R., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Maggiolino, A., Bohrer, B., & Lorenzo, J. M. (2020). Red beetroot. A potential source of natural additives for the meat industry. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(23), 1–22. <https://doi.org/10.3390/app10238340>
- Dong, X. Y., & Yang, Y. L. (2019). A Novel Approach to Enhance Blueberry Quality During Storage Using Cold Plasma at Atmospheric Air Pressure. *Food and Bioprocess*

- Technology*, 12(8), 1409–1421. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02305-y>
- Dzimitrowicz, A., Jamroz, P., Cyganowski, P., Bielawska-Pohl, A., Klimczak, A., & Pohl, P. (2021). Application of cold atmospheric pressure plasmas for high-throughput production of safe-to-consume beetroot juice with improved nutritional quality. *Food Chemistry*, 336(March 2020), 127635. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127635>
- Ebrahimibasabi, E., Ebrahimi, A., Momeni, M., & Amerian, M. reza. (2020). Elevated expression of diosgenin-related genes and stimulation of the defense system in *Trigonella foenum-graecum* (Fenugreek) by cold plasma treatment. *Scientia Horticulturae*, 271(June), 109494. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109494>
- Ehlbeck, J., Schnabel, U., Polak, M., Winter, J., Von Woedtke, T., Brandenburg, R., Von Dem Hagen, T., & Weltmann, K. D. (2011). Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44(1). <https://doi.org/10.1088/0022-3727/44/1/013002>
- Elez Garofulić, I., Režek Jambrak, A., Milošević, S., Dragović-Uzelac, V., Zorić, Z., & Herceg, Z. (2015). The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry *Marasca* (*Prunus cerasus* var. *Marasca*) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 894–900. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.036>
- Esquivel, P. (2016). 4 - Betalains. In R. Carle & R. M. Schweiggert (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 81–99). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00004-X>
- Farber, R., Dabush-Busheri, I., Chaniel, G., Rozenfeld, S., Bormashenko, E., Multanen, V., & Cahan, R. (2019). Biofilm grown on wood waste pretreated with cold low-pressure nitrogen plasma: Utilization for toluene remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 139(December 2018), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.03.003>
- Fernandes, F. A. N., Santos, V. O., & Rodrigues, S. (2019). Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. *Food Research International*, 115(July 2018), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.042>
- Fernández-López, J. A., Fernández-Lledó, V., & Angosto, J. M. (2020). New insights into red plant pigments: More than just natural colorants. *RSC Advances*, 10(41), 24669–24682. <https://doi.org/10.1039/d0ra03514a>
- Filatova, I., Lyushkevich, V., Goncharik, S., Zhukovsky, A., Krupenko, N., & Kalatskaja, J. (2020). The effect of low-pressure plasma treatment of seeds on the plant resistance to pathogens and crop yields. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(24).

<https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab7960>

- Fridman, A., Gutsol, A., & Cho, Y. I. (2007). Non-thermal atmospheric pressure plasma. *Advances in Heat Transfer*, 40(C), 1–142. [https://doi.org/10.1016/S0065-2717\(07\)40001-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2717(07)40001-6)
- Fridman, Alexander, Gutsol, A., Gangoli, S., Ju, Y., & Ombrello, T. (2008). Characteristics of gliding arc and its application in combustion enhancement. *Journal of Propulsion and Power*, 24(6), 1216–1228. <https://doi.org/10.2514/1.24795>
- Fridman, Alexander, Nester, S., Kennedy, L. A., Saveliev, A., & Mutař-Yardimci, O. (1999). *Pii: S0360-1285(98)00021-5*. 25, 211–231. https://ac.els-cdn.com/S0360128598000215/1-s2.0-S0360128598000215-main.pdf?_tid=e9c588df-19d4-4045-ae6c-548fd8c72c7b&acdnt=1540265995_69bf60e99884e6807e6fd93eda437c64
- Gan, Z., Feng, X., Hou, Y., Sun, A., & Wang, R. (2021). Cold plasma jet with dielectric barrier configuration: Investigating its effect on the cell membrane of *E. coli* and *S. cerevisiae* and its impact on the quality of chokeberry juice. *Lwt*, 136(P1), 110223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110223>
- Gao, X., Zhang, A., Héroux, P., Sand, W., Sun, Z., Zhan, J., Wang, C., Hao, S., Li, Z., Li, Z., Guo, Y., & Liu, Y. (2019). Effect of Dielectric Barrier Discharge Cold Plasma on Pea Seed Growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(39), 10813–10822. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03099>
- Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2021). Micro and Nanoencapsulation of Natural Colors: a Holistic View. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(11), 3787–3811. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03631-8>
- Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2022). Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. *LWT*, 153, 112527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112527>
- Gouma, M., Álvarez, I., Condón, S., & Gayán, E. (2020). Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102362>
- Han, Y. X., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2019). Changes in activity, structure and morphology of horseradish peroxidase induced by cold plasma. *Food Chemistry*, 301(July), 125240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125240>
- Hayes, M., & Ferruzzi, M. G. (2020). Update on the bioavailability and chemopreventative

- mechanisms of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 81, 19–37. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.010>
- He, C., Yang, N., Jin, Y., Wu, S., Pan, Y., Xu, X., & Jin, Z. (2021). Application of induced electric field for inner heating of kiwifruit juice and its analysis. *Journal of Food Engineering*, 306, 110609. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110609>
- Hermanns, A. S., Zhou, X., Xu, Q., Tadmor, Y., & Li, L. (2020). Carotenoid Pigment Accumulation in Horticultural Plants. *Horticultural Plant Journal*, 6(6), 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.10.002>
- Hertwig, C., Meneses, N., & Mathys, A. (2018). Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry food surfaces: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.011>
- Hosseini, S. M., Rostami, S., Hosseinzadeh Samani, B., & Lorigooini, Z. (2020). The effect of atmospheric pressure cold plasma on the inactivation of *Escherichia coli* in sour cherry juice and its qualitative properties. *Food Science and Nutrition*, 8(2), 870–883. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1364>
- Hou, Y., Wang, R., Gan, Z., Shao, T., Zhang, X., He, M., & Sun, A. (2019). Effect of cold plasma on blueberry juice quality. *Food Chemistry*, 290(October 2018), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.123>
- Iranbakhsh, A., Ardebili, N. O., Ardebili, Z. O., Shafaati, M., & Ghoranneviss, M. (2018). Non-thermal Plasma Induced Expression of Heat Shock Factor A4A and Improved Wheat (*Triticum aestivum* L.) Growth and Resistance Against Salt Stress. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 38(1), 29–44. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9861-3>
- Iranbakhsh, A., Oraghi Ardebili, Z., Oraghi Ardebili, N., Ghoranneviss, M., & Safari, N. (2018). Cold plasma relieved toxicity signs of nano zinc oxide in *Capsicum annuum* cayenne via modifying growth, differentiation, and physiology. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(8), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2730-8>
- Islam, S., Omar, F. B., Sajib, S. A., Roy, N. C., Reza, A., Hasan, M., Talukder, M. R., & Kabir, A. H. (2019). Effects of LPDBD Plasma and Plasma Activated Water on Germination and Growth in Rapeseed (*Brassica napus*). *Gesunde Pflanzen*, 71(3), 175–185. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00463-9>
- Jain, G., & Gould, K. S. (2015). Are betalain pigments the functional homologues of anthocyanins in plants? *Environmental and Experimental Botany*, 119, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.002>

- Janarny, G., Gunathilake, K. D. P. P., & Ranaweera, K. K. D. S. (2021). Nutraceutical potential of dietary phytochemicals in edible flowers—A review. *Journal of Food Biochemistry*, January, 1–20. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13642>
- Ji, S. H., Yoo, S., Choi, E. H., Kim, S. B., & Oh, J. (2020). Biochemical and molecular characterization of enhanced growth of *Panax ginseng* C. A. Meyer treated with atmospheric pressure plasma. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(49). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abad61>
- Ji, Y., Hu, W., Liao, J., Jiang, A., Xiu, Z., Gaowa, S., Guan, Y., Yang, X., Feng, K., & Liu, C. (2020). Effect of atmospheric cold plasma treatment on antioxidant activities and reactive oxygen species production in postharvest blueberries during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5586–5595. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10611>
- Jiang, J., He, X., Li, L., Li, J., Shao, H., Xu, Q., Ye, R., & Dong, Y. (2014). Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. *Plasma Science and Technology*, 16(1), 54–58. <https://doi.org/10.1088/1009-0630/16/1/12>
- Jiang, Y. H., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2020). Effects of plasma chemistry on the interfacial performance of protein and polysaccharide in emulsion. *Trends in Food Science and Technology*, 98(February), 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.009>
- Jose, J., Ramanujam, S., & Philip, L. (2019). Applicability of pulsed corona discharge treatment for the degradation of chloroform. *Chemical Engineering Journal*, 360(October 2018), 1341–1354. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.199>
- Jurić, S., Jurić, M., Król-Kilińska, Ż., Vlahoviček-Kahlina, K., Vinceković, M., Dragović-Uzelac, V., & Donsì, F. (2020). Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Reviews International*, 00(00), 1–56. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
- Kammerer, D. R. (2016). 3 - Anthocyanins. In R. Carle & R. M. Schweiggert (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 61–80). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00003-8>
- Khan, M. I. (2016). Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 316–330. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12185>
- Koca, N., Karadeniz, F., & Burdurlu, H. S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100(2), 609–615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.079>
- Kogelschatz, U., Eliasson, B., Egli, W., Kogelschatz, U., Eliasson, B., & Principle, W. E. D. D.

- (1997). Dielectric-Barrier Discharges . Principle and Applications To cite this version : *Journal De Physique Iv*.
- Kogelschatz, Ulrich. (2003). *Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications*. 23(1), 1–46.
- Kuai, B., Chen, J., & Hörtensteiner, S. (2018). The biochemistry and molecular biology of chlorophyll breakdown. *Journal of Experimental Botany*, 69(4), 751–767. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx322>
- Kurek, M., Garofulić, I. E., Bakić, M. T., Šćetar, M., Uzelac, V. D., & Galić, K. (2018). Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 84(March), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.050>
- Lacombe, A., Niemira, B. A., Gurtler, J. B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., & Chen, H. (2015). Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiology*, 46, 479–484. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.010>
- Lanfer-Marquez, U. M. (2003). O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 39(3), 227–242. <https://doi.org/10.1590/s1516-93322003000300003>
- Larsson, A., Adelow, L., Elfsberg, M., & Hurtig, T. (2014). Experiments on gliding discharge configuration for plasma-assisted combustion. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 42(10), 3186–3190. <https://doi.org/10.1109/TPS.2014.2314310>
- Li, F., Chen, G., Zhang, B., & Fu, X. (2017). Current applications and new opportunities for the thermal and non-thermal processing technologies to generate berry product or extracts with high nutraceutical contents. *Food Research International*, 100(June), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.035>
- Li, L., Li, J., Shen, M., Hou, J., Shao, H., Dong, Y., & Jiang, J. (2016). Improving Seed Germination and Peanut Yields by Cold Plasma Treatment. *Plasma Science and Technology*, 18(10), 1027–1033. <https://doi.org/10.1088/1009-0630/18/10/10>
- Li, M., Li, X., Han, C., Ji, N., Jin, P., & Zheng, Y. (2019). Physiological and Metabolomic Analysis of Cold Plasma Treated Fresh-Cut Strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(14), 4043–4053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00656>
- Li, P., Feng, D., Yang, D., Li, X., Sun, J., Wang, G., Tian, L., Jiang, X., & Bai, W. (2021). Protective effects of anthocyanins on neurodegenerative diseases. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.005>

- Li, S., Dang, X., Yu, X., Abbas, G., Zhang, Q., & Cao, L. (2020). The application of dielectric barrier discharge non-thermal plasma in VOCs abatement: A review. *Chemical Engineering Journal*, 388(October 2019), 124275. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124275>
- Liao, X., Muhammad, A. I., Chen, S., Hu, Y., Ye, X., Liu, D., & Ding, T. (2019). Bacterial spore inactivation induced by cold plasma. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(16), 2562–2572. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1460797>
- Lin, Y. P., & Charng, Y. yung. (2021). Chlorophyll dephytylation in chlorophyll metabolism: a simple reaction catalyzed by various enzymes. *Plant Science*, 302(June 2020), 110682. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110682>
- Liu, X., Liu, J., Bi, J., Yi, J., Peng, J., Ning, C., Wellala, C. K. D., & Zhang, B. (2019). Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Carbohydrate Polymers*, 203, 176–184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.055>
- Lopes, R. P., Mota, M. J., Delgadillo, I., & Saraiva, J. A. (2016). Pasteurization: Effect on Sensory Quality and Nutrient Composition. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 246–263). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00524-9>
- López, C. J., Caleja, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits. *Food Chemistry*, 264, 81–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.103>
- López-Gámez, G., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2021). Enhancing carotenoid and phenolic contents in plant food matrices by applying non-thermal technologies: Bioproduction vs improved extractability. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 622–630. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.022>
- Lotfy, K. (2017). Cold Plasma Jet Construction to Use in Medical, Biology and Polymer Applications. *Journal of Modern Physics*, 08(11), 1901–1910. <https://doi.org/10.4236/jmp.2017.81113>
- Lu, P., Cullen, P. J., & Ostrikov, K. (2016). Chapter 4 - Atmospheric Pressure Nonthermal Plasma Sources. In N. N. Misra, O. Schlüter, & P. J. Cullen (Eds.), *Cold Plasma in Food and Agriculture* (pp. 83–116). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00004-4>
- Lu, Wang, Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant Activity

- and Healthy Benefits of Natural Pigments in Fruits: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
- Lu, Wei, Maidannyk, V. A., & Lim, A. S. L. (2020). 7 - Carotenoids degradation and precautions during processing. In C. M. Galanakis (Ed.), *Carotenoids: Properties, Processing and Applications* (pp. 223–258). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817067-0.00007-5>
- Lukić, K., Vukušić, T., Tomašević, M., Ćurko, N., Gracin, L., & Kovačević Ganić, K. (2019). The impact of high voltage electrical discharge plasma on the chromatic characteristics and phenolic composition of red and white wines. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 53(November 2017), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.004>
- Madadi, E., Mazloun-Ravasan, S., Yu, J. S., Ha, J. W., Hamishehkar, H., & Kim, K. H. (2020). Therapeutic application of betalains: A review. *Plants*, 9(9), 1–27. <https://doi.org/10.3390/plants9091219>
- Mahnot, N. K., Siyu, L. P., Wan, Z., Keener, K. M., & Misra, N. N. (2020). In-package cold plasma decontamination of fresh-cut carrots: Microbial and quality aspects. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(15). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab6cd3>
- Mani, J. S., Johnson, J. B., Hosking, H., Ashwath, N., Walsh, K. B., Neilsen, P. M., Broszczak, D. A., & Naiker, M. (2021). Antioxidative and therapeutic potential of selected Australian plants: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 268, 113580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113580>
- Maniglia, B. C., Castanha, N., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2021). Emerging technologies to enhance starch performance. *Current Opinion in Food Science*, 37, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.003>
- Manzoor, M., Singh, J., Gani, A., & Noor, N. (2021). Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, 362, 130141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130141>
- Mao, L., Mhaske, P., Zing, X., Kasapis, S., Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Cold plasma: Microbial inactivation and effects on quality attributes of fresh and minimally processed fruits and Ready-To-Eat vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 146–175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.002>
- McKay, K., Iza, F., & Kong, M. G. (2010). Excitation frequency effects on atmospheric-pressure helium RF microplasmas: Plasma density, electron energy and plasma impedance. *European Physical Journal D*, 60(3), 497–503.

<https://doi.org/10.1140/epjd/e2010-00191-7>

- Mehta, D., Sharma, N., Bansal, V., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2019). Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52(May 2018), 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.015>
- Meléndez-Martínez, A. J. (2019). An Overview of Carotenoids, Apocarotenoids, and Vitamin A in Agro-Food, Nutrition, Health, and Disease. *Molecular Nutrition and Food Research*, 63(15), 1–11. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201801045>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M. P., Dias, M. G., Elgersma, A., Fikselová, M., García-Alonso, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V. S. S., Hornero-Méndez, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G. A., Mapelli-Brahm, P., ... O'Brien, N. (2020). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–51. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mapelli-Brahm, P., Benítez-González, A., & Stinco, C. M. (2015). A comprehensive review on the colorless carotenoids phytoene and phytofluene. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 572, 188–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.01.003>
- Mercali, G. D., Schwartz, S., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., & Sastry, S. (2014). Effect of the Electric Field Frequency on Ascorbic Acid Degradation during Thermal Treatment by Ohmic Heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(25), 5865–5870. <https://doi.org/10.1021/jf500203u>
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2016). Understanding the Role of Plasma Technology in Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 9(5), 734–750. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1699-9>
- Miraei Ashtiani, S. H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., Khojastehpour, M., Khani, M. R., Rohani, A., Shokri, B., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63(May), 102381. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
- Misra, N. N., Pankaj, S. K., Frias, J. M., Keener, K. M., & Cullen, P. J. (2015). The effects of nonthermal plasma on chemical quality of strawberries. *Postharvest Biology and*

- Technology*, 110, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.023>
- Misra, N. N., Tiwari, B. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Cullen, P. J. (2011). Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3(3–4), 159–170. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9>
- Misra, N. N., Yepez, X., Xu, L., & Keener, K. (2019). In-package cold plasma technologies. *Journal of Food Engineering*, 244(May 2018), 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.019>
- Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, &. (2010). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Moreau, E., Audier, P., & Benard, N. (2018). Ionic wind produced by positive and negative corona discharges in air. *Journal of Electrostatics*, 93(March), 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2018.03.009>
- Moreau, M., Orange, N., & Feuilloley, M. G. J. (2008). Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination. *Biotechnology Advances*, 26(6), 610–617. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.08.001>
- Mortensen, A., & Skibsted, L. H. (1997). Importance of Carotenoid Structure in Radical-Scavenging Reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(8), 2970–2977. <https://doi.org/10.1021/jf970010s>
- Mousavi Khaneghah, A., Fakhri, Y., & Sant’Ana, A. S. (2018). Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and zearalenone: A systematic review and meta-analysis. *Food Chemistry*, 268, 611–624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.072>
- Moutiq, R., Misra, N. N., Mendonça, A., & Keener, K. (2020). In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies. *Meat Science*, 159(July 2019), 107942. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107942>
- Naebe, M., Haque, A. N. M. A., & Haji, A. (2021). Plasma-assisted antimicrobial finishing of textiles: A review. *Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.01.011>
- Nagraj, G. S., Jaiswal, S., Harper, N., & Jaiswal, A. K. (2020). Chapter 20 - Carrot. In A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 323–337). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9>
- Negri Rodríguez, L. M., Arias, R., Soteras, T., Sancho, A., Pesquero, N., Rossetti, L., Tacca, H., Aimaretti, N., Rojas Cervantes, M. L., & Szerman, N. (2021). Comparison of the

- quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment. *LWT*, 145, 111255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>
- Niemira, B. A. (2012). Cold Plasma Decontamination of Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 125–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Niemira, B. A. (2014). Chapter 18 - Decontamination of Foods by Cold Plasma. In D.-W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition)* (Second Edi, pp. 327–333). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00018-8>
- Norsuzila Ya'acob¹, Mardina Abdullah^{1, 2} and Mahamod Ismail^{1, 2}, Medina, M., Talarico, T. L., Casas, I. A., Chung, T. C., Dobrogosz, W. J., Axelsson, L., Lindgren, S. E., Dobrogosz, W. J., Kerkeni, L., Ruano, P., Delgado, L. L., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., & Masuelli, M. (1989). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. *Intech*, 32, 137–144.
- Nowacka, M., Dadan, M., Janowicz, M., Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D., Mandal, R., Pratap-Singh, A., & Janiszewska-Turak, E. (2021). Effect of nonthermal treatments on selected natural food pigments and color changes in plant material. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, March, 1–48. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12824>
- Ojha, S., Fröhling, A., Durek, J., Ehlbeck, J., Tiwari, B. K., Schlüter, O. K., & Bußler, S. (2021). Principles and Application of Cold Plasma in Food Processing. *Innovative Food Processing Technologies*, 1857, 519–540. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23033-3>
- Ozen, E., & Singh, R. K. (2020). Atmospheric cold plasma treatment of fruit juices: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.020>
- Paatre Shashikanthalu, S., Ramireddy, L., & Radhakrishnan, M. (2020). Stimulation of the germination and seedling growth of Cuminum cyminum L. seeds by cold plasma. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18(May), 100259. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100259>
- Pathak, N., Grossi Bovi, G., Limnaios, A., Fröhling, A., Brincat, J. P., Taoukis, P., Valdramidis, V. P., & Schlüter, O. (2020). Impact of cold atmospheric pressure plasma processing on storage of blueberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14581>
- Pedrow, P., Hua, Z., Xie, S., & Zhu, M.-J. (2020). Chapter 1 - Engineering principles of cold

- plasma. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 3–48). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00001-3>
- Peng, J., Tang, J., Barrett, D. M., Sablani, S. S., Anderson, N., & Powers, J. R. (2017). Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 2970–2995. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1082126>
- Phan, K. T. K., Phan, H. T., Boonyawan, D., Intipunya, P., Brennan, C. S., Regenstein, J. M., & Phimolsiripol, Y. (2018). Non-thermal plasma for elimination of pesticide residues in mango. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48(December 2017), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.009>
- Pintea, A., Rugină, D., & Diaconeasa, Z. (2018). 4 - Pharmacologically Active Plant-Derived Natural Products. In G. Ciofani (Ed.), *Smart Nanoparticles for Biomedicine* (pp. 49–64). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814156-4.00004-5>
- Pires, E. O., Caleja, C., Garcia, C. C., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Current status of genus *Impatiens*: Bioactive compounds and natural pigments with health benefits. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.074>
- Putnik, P., Kresoja, Ž., Bosiljkov, T., Režek Jambrak, A., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Roohinejad, S., Granato, D., Žuntar, I., & Bursać Kovačević, D. (2019). Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on pomegranate juice quality: A review. *Food Chemistry*, 279(July 2018), 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.131>
- Queiroz Zepka, L., Jacob-Lopes, E., & Roca, M. (2019). Catabolism and bioactive properties of chlorophylls. *Current Opinion in Food Science*, 26(Table 1), 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.04.004>
- Rahimi, P., Abedimanesh, S., Mesbah-Namin, S. A., & Ostadrahimi, A. (2019). Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(18), 2949–2978. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1479830>
- Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., & Rocculi, P. (2015). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.008>
- Ranjitha Gracy, T. K., Gupta, V., & Mahendran, R. (2019). Influence of low-pressure

- nonthermal dielectric barrier discharge plasma on chlorpyrifos reduction in tomatoes. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–16. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13242>
- Ribeiro, J. S., & Veloso, C. M. (2021). Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids*, 112(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106374>
- Riganakos, K. A., Karabagias, I. K., Gertzou, I., & Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42(June), 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.015>
- Roca, M., Chen, K., & Pérez-Gálvez, A. (2016). 6 - Chlorophylls. In R. Carle & R. M. Schweiggert (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* (pp. 125–158). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00006-3>
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2019). Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 124(March 2018), 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>
- Rodriguez-Amaya, D. B., & Carle, R. (2021). Chapter 7 - Alterations of natural pigments. In D. B. Rodriguez-Amaya & J. Amaya-Farfan (Eds.), *Chemical Changes During Processing and Storage of Foods* (pp. 265–327). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817380-0.00007-5>
- Rodriguez-Concepcion, M., Avalos, J., Bonet, M. L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Mendez, D., Limon, M. C., Meléndez-Martínez, A. J., Olmedilla-Alonso, B., Palou, A., Ribot, J., Rodrigo, M. J., Zacarias, L., & Zhu, C. (2018). A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*, 70, 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>
- Roy, N. C., Hasan, M. M., Kabir, A. H., Reza, M. A., Talukder, M. R., & Chowdhury, A. N. (2018). Atmospheric pressure gliding arc discharge plasma treatments for improving germination, growth and yield of wheat. *Plasma Science and Technology*, 20(11). <https://doi.org/10.1088/2058-6272/aac647>
- Roy, N. C., Hasan, M. M., Talukder, M. R., Hossain, M. D., & Chowdhury, A. N. (2018). Prospective Applications of Low Frequency Glow Discharge Plasmas on Enhanced Germination, Growth and Yield of Wheat. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 38(1), 13–28. <https://doi.org/10.1007/s11090-017-9855-1>

- Saberi, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Zare, R., & Ghomi, H. (2020). Improvement of photosynthesis and photosynthetic productivity of winter wheat by cold plasma treatment under haze condition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(7), 1889–1904.
- Saberi, Mahin, Modarres-Sanavy, S. A. M., Zare, R., & Ghomi, H. (2018). Amelioration of Photosynthesis and Quality of Wheat under Non-thermal Radio Frequency Plasma Treatment. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30200-7>
- Sadilova, E., Carle, R., & Stintzing, F. C. (2007). Thermal degradation of anthocyanins and its impact on color and in vitro antioxidant capacity. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51(12), 1461–1471. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700179>
- Sahar, A., Rahman, U. U., Aadil, R. M., & Ishaq, A. (2019). Stabilization of Carotenoids in Foods. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 330–336). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21670-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21670-3)
- Sainz-García, E., López-Alfaro, I., Múgica-Vidal, R., López, R., Escribano-Viana, R., Portu, J., Alba-Elías, F., & González-Arenzana, L. (2019). Effect of the Atmospheric Pressure Cold Plasma Treatment on Tempranillo Red Wine Quality in Batch and Flow Systems. *Beverages*, 5(3), 50. <https://doi.org/10.3390/beverages5030050>
- Sakudo, A., Misawa, T., & Yagyu, Y. (2020). Chapter 10 - Equipment design for cold plasma disinfection of food products. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 289–307). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00010-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00010-4)
- Saleem, F., Harris, J., Zhang, K., & Harvey, A. (2020). Non-thermal plasma as a promising route for the removal of tar from the product gas of biomass gasification – A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 382(September 2019), 122761. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122761>
- Santos, L. C. O., Cubas, A. L. V., Moecke, E. H. S., Ribeiro, D. H. B., & Amante, E. R. (2018). Use of cold plasma to inactivate *Escherichia coli* and physicochemical evaluation in pumpkin puree. *Journal of Food Protection*, 81(11), 1897–1905. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-136>
- Scholtz, V., Pazlarova, J., Souskova, H., Khun, J., & Julak, J. (2015). Nonthermal plasma - A tool for decontamination and disinfection. *Biotechnology Advances*, 33(6), 1108–1119. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.002>
- Schünemann, H., Vist, G., Higgins, J., Santesso, N., Deeks, J., Glasziou, P., E, A., Guyatt, G., & Groups, on behalf of C. Grade. M. (2019). *Chichester (UK): Wiley-Blackwell* (J.

- Higgins, J. Thomas, R. Churchill, J. Chandler, & M. Cumpston (eds.)). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.0. <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-15>
- Šeregelj, V., Vulić, J., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Tumbas Šaponjac, V., & Stajčić, S. (2020). Chapter 9 - Natural bioactive compounds in carrot waste for food applications and health benefits. In Atta-ur-Rahman (Ed.), *Bioactive Natural Products* (Vol. 67, pp. 307–344). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819483-6.00009-6>
- Sharma, S., & Singh, R. k. (2020). Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*, 102(March), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013>
- Sharma, Shweta, Katoch, V., Kumar, S., & Chatterjee, S. (2021). Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 92, 108615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108615>
- Sheteiwy, M. S., An, J., Yin, M., Jia, X., Guan, Y., He, F., & Hu, J. (2019). Correction to: Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of *Oryza sativa* seedlings (Protoplasma, (2019), 256, 1, (79-99), 10.1007/s00709-018-1279-0). *Protoplasma*, 256(1), 101–103. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1288-z>
- Silveira, M. R., Coutinho, N. M., Esmerino, E. A., Moraes, J., Fernandes, L. M., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Senaka Ranadheera, C., Borges, F. O., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Fernandes, F. A. N., Fonteles, T. V., Nazzaro, F., Rodrigues, S., & Cruz, A. G. (2019). Guava-flavored whey beverage processed by cold plasma technology: Bioactive compounds, fatty acid profile and volatile compounds. *Food Chemistry*, 279(December 2018), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.128>
- Singh, A. K., Rana, H. K., & Pandey, A. K. (2020). Analysis of chlorophylls. In *Recent Advances in Natural Products Analysis*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816455-6.00019-6>
- Slimen, I. B., Najar, T., & Abderrabba, M. (2017). Chemical and antioxidant properties of betalains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(4), 675–689. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04208>
- Solovchenko, A., Yahia, E. M., & Chen, C. (2019). Chapter 11 - Pigments. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 225–252). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278->

4.00011-7

- Sonar, C. R., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. S. (2019). Natural color pigments: oxidative stability and degradation kinetics during storage in thermally pasteurized vegetable purees. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5934–5945. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9868>
- Spence, C. (2015). On the psychological impact of food colour. *Flavour*, 4(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0031-3>
- Sruthi, N. U., Josna, K., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Gavahian, M., & Mousavi Khaneghah, A. (2022). Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 368, 130809. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130809>
- Starek, A., Pawłat, J., Chudzik, B., Kwiatkowski, M., Terebun, P., Sagan, A., & Andrejko, D. (2019). Evaluation of selected microbial and physicochemical parameters of fresh tomato juice after cold atmospheric pressure plasma treatment during refrigerated storage. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44946-1>
- Stegmaier, T., Dinkelmann, A., Von Arnim, V., & Rau, A. (2007). Corona and dielectric barrier discharge plasma treatment of textiles for technical applications. In *Plasma Technologies for Textiles: A Volume in Woodhead Publishing Series in Textiles*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845692575.1.129>
- Stinco, C. M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C. A., Inácio, R. S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Saraiva, J. A., & Meléndez-Martínez, A. J. (2019). Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry*, 299, 125112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125112>
- Sun, J., Tang, Y., & Li, S. (2020). Plasma-assisted stabilization of premixed swirl flames by gliding arc discharges. *Proceedings of the Combustion Institute*, 000, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.223>
- Sun, T., Yuan, H., Cao, H., Yazdani, M., Tadmor, Y., & Li, L. (2018). Carotenoid Metabolism in Plants: The Role of Plastids. *Molecular Plant*, 11(1), 58–74. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.09.010>
- Surowsky, B., Bußler, S., & Schlüter, O. K. (2016). Chapter 7 - Cold Plasma Interactions With Food Constituents in Liquid and Solid Food Matrices. In N. N. Misra, O. Schlüter, & P. J. Cullen (Eds.), *Cold Plasma in Food and Agriculture* (pp. 179–203). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00007-X>

- Szczepańska, J., Barba, F. J., Skapska, S., & Marszałek, K. (2020). High pressure processing of carrot juice: Effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour. *Food Chemistry*, 307, 125549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125549>
- Tappi, S., Gozzi, G., Vannini, L., Berardinelli, A., Romani, S., Ragni, L., & Rocculi, P. (2016). Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.022>
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., & Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2–30. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2005.10.003>
- Thirumdas, R., Saragapani, C., Ajinkya, M. T., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016). Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 53–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.009>
- Tiya-Djowe, A., Acayanka, E., Mbouopda, A. P., Boyom-Tatchemo, W., Laminsi, S., & Gaigneaux, E. M. (2019). Producing oxide catalysts by exploiting the chemistry of gliding arc atmospheric plasma in humid air. *Catalysis Today*, 334(June 2018), 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.01.008>
- Turner, M. (2016). Physics of Cold Plasma. In *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00002-0>
- Umair, M., Jabbar, S., Lin, Y., Nasiru, M. M., Zhang, J., Abid, M., Murtaza, M. A., & Zhao, L. (2022). Comparative study: Thermal and non-thermal treatment on enzyme deactivation and selected quality attributes of fresh carrot juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 827–841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.15535>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Senan, A. M., Zhuang, H., & Zhang, J. (2020). Sequential Application of High-Voltage Electric Field Cold Plasma Treatment and Acid Blanching Improves the Quality of Fresh Carrot Juice (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(51), 15311–15318. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03470>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Sultana, T., Senan, A. M., Awad, F. N., Hong, Z., & Zhang, J. (2019). Exploring the potential of high-voltage electric field cold plasma (HVCP) using a dielectric barrier discharge (DBD) as a plasma source on the quality parameters of carrot juice. *Antibiotics*, 8(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8040235>

- Umair, M., Jabbar, S., Senan, A. M., Sultana, T., Nasiru, M. M., Shah, A. A., Zhuang, H., & Jianhao, Z. (2019). Influence of Combined Effect of Ultra-Sonication and High-Voltage Cold Plasma Treatment on Quality Parameters of Carrot Juice. In *Foods* (Vol. 8, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/foods8110593>
- Waghmare, R. (2021). Cold plasma technology for fruit based beverages: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 60–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.018>
- Wang, J., Zhu, T., Cai, Y. xi, Zhang, J. fei, & Wang, J. bo. (2020). Review on the recent development of corona wind and its application in heat transfer enhancement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152, 119545. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119545>
- Whitehead, J. C. (2016). The Chemistry of Cold Plasma. In *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00003-2>
- Wu, X., Zhao, W., Zeng, X., Zhang, Q. A., Gao, G., & Song, S. (2020). Effects of cold plasma treatment on cherry quality during storage. *Food Science and Technology International*, 1–15. <https://doi.org/10.1177/1082013220957134>
- Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., Emanuelli, T., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. Q., & Cervantes-Paz, B. (2017). Chemistry, Stability, and Biological Actions of Carotenoids. In *Fruit and Vegetable Phytochemicals* (pp. 285–346). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch15>
- Żary-Sikorska, E., Fotschki, B., Fotschki, J., Wiczkowski, W., & Juśkiewicz, J. (2019). Preparations from purple carrots containing anthocyanins improved intestine microbial activity, serum lipid profile and antioxidant status in rats. *Journal of Functional Foods*, 60, 103442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103442>
- Zhang, C., Shao, T., Xu, J., Ma, H., Duan, L., Ren, C., & Yan, P. (2012). A gliding discharge in open air sustained by high-voltage resonant ac power supply. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 40(11 PART1), 2843–2849. <https://doi.org/10.1109/TPS.2012.2208470>
- Zhang, H., Ma, D., Qiu, R., Tang, Y., & Du, C. (2017). Non-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review. *Chemical Engineering Journal*, 313, 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.067>
- Zhu, F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*, 109, 232–249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>
- Zhu, H., Guo, L., Li, M., Jiang, Y., & Li, H. (2021). Comparison of spatial distribution of active

substances and sterilization range generated by array of printed-circuit-board plasma jets. *Vacuum*, 184(December 2020), 109982. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109982>

Zhu, Y., Li, C., Cui, H., & Lin, L. (2020). Feasibility of cold plasma for the control of biofilms in food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.001>