



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Lara Santos Pagliarim

**Aplicação do plasma frio em superfícies de morango: avaliação dos efeitos nas
características físico-químicas e no desenvolvimento fúngico**

Florianópolis - SC
2023

Lara Santos Pagliarim

Aplicação do plasma frio em superfícies de morango: avaliação dos efeitos nas características físico-químicas e no desenvolvimento fúngico

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Florianópolis - SC

2023

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Lara Santos Pagliarim

Aplicação do plasma frio em superfícies de morango: avaliação dos efeitos nas características físico-químicas e no desenvolvimento fúngico

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos

Florianópolis, 3 de julho de 2023.

Prof. Dr. Marco Di Luccio
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, Dr^a.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Cristiano José de Andrade, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Andrei Battisti, Msc.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo minha família, por todo o apoio e suporte. Aos meus pais, Magda Moraes Santos e Marcelo Cavalheiro Pagliarim por todo o amor, carinho, incentivo e suporte, sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu namorado, Vinícius Ferreira, por toda a força, apoio e carinho dedicados, além da compreensão e paciência nessa jornada. À família do meu namorado, Letícia, Airton e Maria Luisa, por me acolherem como parte da família e pelo carinho que sempre demonstraram.

Agradeço também à minha amiga da graduação, Júlia Bristot, pela parceria de sempre, pelo apoio e por estarmos juntas durante essa importante etapa da minha vida acadêmica. Às minhas amigas de infância, Izabel Beckhäuser e Stella Nobre, por serem amigas verdadeiras, por estarem ao meu lado desde os primeiros passos e por compartilharmos momentos inesquecíveis juntas.

Não posso deixar de agradecer à minha professora orientadora, Profa. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, por sua orientação, paciência e conhecimento compartilhado. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento do meu trabalho. Agradeço também à ex-mestranda, Marina Souza, por toda ajuda durante a pesquisa e suporte no Laboratório PROFI. Sua contribuição foi essencial para o sucesso do projeto.

Agradeço aos membros da minha banca, Prof. Dr. Cristiano José de Andrade e Me. Andrei Battisti, por aceitarem participar e contribuir com suas avaliações e sugestões enriquecedoras.

Quero expressar minha gratidão ao Laboratório PROFI, por disponibilizar os recursos necessários para a realização da pesquisa e por oferecer um ótimo ambiente de trabalho.

Não poderia deixar de mencionar a Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de estudar e me desenvolver na área de Engenharia de Alimentos.

Por fim, agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha jornada de formação, transmitindo conhecimentos e experiências valiosas.

RESUMO

Tecnologias não térmicas vêm sendo estudadas com o intuito de melhorar a conservação de frutas e hortaliças no período pós-colheita. O plasma frio atmosférico, uma dessas tecnologias não térmicas, utiliza descargas elétricas para criar um ambiente ionizado, que inativa microrganismos e promove alterações benéficas nos alimentos, melhorando sua qualidade e prolongando sua vida útil. Neste estudo, foi investigada a eficácia do tratamento com plasma frio atmosférico de descarga dielétrica (DBD) em morangos, visando à preservação da qualidade e ao controle de contaminação fúngica. Diferentes tempos de tratamento (2,5, 5 e 7,5 minutos) com voltagem de 30kV foram avaliados, juntamente com um período de armazenamento de 7 dias. Os resultados mostraram que todos os grupos tratados com plasma frio apresentaram uma redução na perda de peso dos morangos. Além disso, os morangos tratados por 5 minutos mantiveram melhor a coloração vermelha e a luminosidade durante o armazenamento. Logo após a aplicação do plasma frio, os morangos tratados apresentaram um leve aumento no valor do pH. A textura e os sólidos solúveis totais (SST) dos morangos foram preservados pelo tratamento com plasma frio. Em relação à contaminação fúngica, os morangos tratados por 2,5 minutos resistiram à deterioração por 5 dias a mais em comparação com o grupo controle, indicando um aumento na vida útil dos morangos. Esses resultados sugerem que o plasma frio atmosférico pode ser uma tecnologia promissora para a conservação de morangos, melhorando sua qualidade e prolongando sua vida útil.

Palavras-chave: plasma frio atmosférico, descarga dielétrica, morangos, conservação de alimentos, contaminação fúngica.

ABSTRACT

Non-thermal technologies have been studied to improve the post-harvest conservation of fruits and vegetables. Atmospheric cold plasma, one of these non-thermal technologies, utilizes electrical discharges to create an ionized environment that inactivates microorganisms and promotes beneficial changes in food, enhancing its quality and extending its shelf life. In this study, the effectiveness of atmospheric cold plasma treatment using dielectric barrier discharge (DBD) was investigated for preserving the quality and controlling fungal contamination in strawberries. Different treatment times (2.5, 5, and 7.5 minutes) with a voltage of 30kV were evaluated, along with a storage period of 7 days. The results showed that all groups treated with cold plasma exhibited a reduction in strawberry weight loss. Additionally, strawberries treated for 5 minutes maintained better red color and brightness during storage. Immediately after the cold plasma application, the treated strawberries showed a slight increase in pH value. Texture and total soluble solids (TSS) of the strawberries were preserved by the cold plasma treatment. Regarding fungal contamination, strawberries treated for 2.5 minutes resisted deterioration for an additional 5 days compared to the control group, indicating an extended shelf life. These findings suggest that atmospheric cold plasma can be a promising technology for strawberry conservation, improving its quality and prolonging its shelf life.

Keywords: atmospheric cold plasma, dielectric barrier discharge, strawberries, food preservation, fungal contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sintomas de infecções por <i>Botrytis cinerea</i> em morango.....	18
Figura 2 - Ciclo da doença de <i>Botrytis cinerea</i> em morangos.....	19
Figura 3 - Sistemas de Plasma (a) Descarga de barreira dielétrica (b) Descarga corona (c) Jato de plasma	25
Figura 4 - Efeito do plasma frio na morfologia de <i>Botrytis cinerea</i>	35
Figura 5 - Efeito sobre o esporo de <i>Botrytis cinerea</i>	35
Figura 6 - Cortes das amostras de morangos	37
Figura 7 - Esquema do plasma frio de barreira dielétrica.....	38
Figura 8 - Perda de peso dos morangos durante o armazenamento.....	41
Figura 9 - Firmeza dos morangos durante o armazenamento.....	44
Figura 10 - Desenvolvimento visual natural dos fungos nos grupos de morangos	48
Figura 11 - Análise visual dos morangos até o 3º dia	48
Figura 12 - Análise visual dos morangos do 5º ao 7º	49
Figura 13 - Análise visual dos morangos do 9º e 10º dia	49
Figura 14 - Efeito da exposição prolongada da superfície dos morangos ao plasma frio	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito do plasma frio sobre os polifenóis	27
Tabela 2 - Efeito do plasma frio sobre as antocianinas	27
Tabela 3 - Efeito do plasma frio sobre os flavonoides	28
Tabela 4 - Efeito do plasma frio sobre a ação antioxidante.....	28
Tabela 5 - Efeito do plasma frio sobre as vitaminas.....	29
Tabela 6 - Efeitos do plasma sobre compostos bioativos em morangos	30
Tabela 7 - pH dos morangos durante o armazenamento	42
Tabela 8 - Teor de SST (%) dos morangos durante o armazenamento	43
Tabela 9 - Alteração dos parâmetros de cor L*, a* e b*	45
Tabela 10 - Alteração dos parâmetros de cor ΔE^* , C* e h [°]	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ca	Cálcio
Co	Cobalto
Cs	Césio
CO ₂	Dióxido de carbono
DBD	Descarga de Barreira Dielétrica
DNA	Ácido desoxirribonucleico
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
Log	Logaritmo
MJ	Metil jasmonato
O ₂	Oxigênio
N ₂	Nitrogênio
PET	Polietileno Tereftalato
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
PF	Plasma Frio
SST	Sólidos solúveis totais
UV	Ultravioleta
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	MORANGOS	16
3.2	BOTRYTIS CINEREA	17
3.3	TRATAMENTOS NÃO TÉRMICOS.....	21
3.4	PLASMA FRIO	24
3.5	EFEITOS DO PLASMA FRIO SOBRE COMPONENTES BIOATIVOS	26
3.5.1	Polifenóis.....	26
3.5.1	Antocianinas.....	27
3.5.2	Flavonoides.....	27
3.5.3	Antioxidantes	28
3.5.4	Vitaminas.....	29
3.6	EFEITOS DO PLASMA FRIO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS 30	
3.6.1	Perda de peso	30
3.6.2	Cor.....	31
3.6.3	Textura	31
3.6.4	pH e acidez	32
3.6.5	Sólidos Solúveis Totais (SST)	32
3.7	EFEITO DO PLASMA FRIO NA INATIVAÇÃO MICROBIOLÓGICA	33
3.8	EFEITO DO TEMPO DE APLICAÇÃO DO PLASMA FRIO	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	MATÉRIA PRIMA E MANUSEIO.....	37
4.2	PLASMA FRIO DE BARREIRA DIELÉTRICA E ARMAZENAMENTO	37
4.3	CARACTERIAZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS MORANGOS	38
4.3.1	Perda de peso durante o armazenamento	38
4.3.2	Análise da cor dos morangos	39
4.3.3	Análise do perfil de textura.....	39
4.3.4	pH.....	40

4.3.5	Sólidos solúveis totais	40
4.4	AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE FUNGOS	40
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	ANÁLISE DA PERDA DE PESO	41
5.2	ANÁLISE DO PH	42
5.3	ANÁLISE DOS SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS.....	43
5.4	ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA.....	44
5.5	ANÁLISE DA COR	45
5.6	ANÁLISE VISUAL DO DESENVOLVIMENTO FÚNGICO	48
6	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O morango é um pseudofruto não climatérico que apresenta uma vida útil muito reduzida, onde fatores como injúrias mecânicas, desidratação, mas principalmente ataques microbiológicos de fungos e leveduras levam este fruto à senescência (BORTOLOZZO et al., 2007; GARCIA et al., 2012; HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2008). O fungo *Botrytis cinerea* é o principal responsável pelas perdas pós colheita e perdas econômicas dessa cultura. Um grande desafio é encontrar maneiras de retardar o crescimento desses fungos nos morangos, prolongando assim sua vida útil. Várias tecnologias não térmicas, como atmosfera modificada, luz pulsada, ozônio, plasma frio entre outras, estão sendo estudadas para enfrentar esse desafio.

O plasma frio é um tratamento não térmico capaz de fazer uma esterilização e preservar atributos de qualidade no alimento ao mesmo tempo (SRUTHI et al., 2022a). O termo "plasma" se refere a um gás ionizado quase neutro, principalmente composto de fótons, íons e elétrons livres, bem como átomos em seus estados fundamentais ou excitados com uma carga neutra. Descargas plasmáticas são amplamente utilizadas para processamento e são indispensáveis para muitas aplicações tecnológicas (MILOSAVLJEVIĆ; KARKARI; ELLINGBOE, 2007). Por meio de sua ampla variedade de condições operacionais, as fontes de plasma oferecem uma enorme liberdade na geração de radiação e na criação de composições químicas. Diversas aplicações de plasma foram identificadas na literatura: fontes de luz de alta eficiência, rica de plasma UV utilizada para processamento de materiais, como deposição, limpeza e modificação de superfície (O'NEILL et al., 2012).

A aplicação de plasma frio, é uma tecnologia emergente altamente atrativa para a indústria de alimentos por ser um método de esterilização eficaz, que não produz resíduos, que demanda tempos de processamento curtos, e ser ambientalmente segura (PANKAJ et al., 2014). As vantagens do processo incluem o uso de baixas temperaturas, curtos tempos de tratamento, eficiência energética e eficácia na destruição de bactérias. Além disso, preserva compostos termossensíveis, como os compostos bioativos e preserva as características sensoriais dos produtos (COUTINHO et al., 2018).

O tratamento de morangos com plasma frio já é um tema abordado por alguns pesquisadores, e vem se mostrando uma ótima alternativa para prolongar a vida útil (RANA et al., 2020), inativar microrganismos indesejáveis (ZIUZINA et al., 2020a), aumentar a capacidade antioxidante, compostos fenólicos e vitamina C (LI et al., 2019) e não alterar a cor, a textura, o pH e sólidos solúveis totais dos frutos (MISRA et al., 2014a; ZIUZINA et al., 2020a). Dito isso, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar os efeitos na textura,

na cor, no pH, nos sólidos solúveis, na perda de peso, e no desenvolvimento fúngico de morangos tratados com plasma frio atmosférico de barreira dielétrica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito da aplicação do plasma frio nas propriedades físico-químicas e no desenvolvimento de fungos em morangos tratados com plasma frio atmosférico de barreira dielétrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar uma revisão bibliográfica sobre o plasma frio a partir do tema abordado: efeitos do plasma frio sobre as características físico-químicas, dos componentes bioativos e inativação de microrganismos em alimentos.
- Avaliar os efeitos do plasma frio sobre as propriedades físico-químicas, perda de peso, pH, sólidos solúveis totais, firmeza e cor de morangos.
- Avaliar o efeito do plasma frio sobre o desenvolvimento fúngico de *Botrytis cinerea* em morangos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MORANGOS

O morango é o pseudofruto do morangueiro, uma planta herbácea e perene da família Rosaceae, gênero *Fragaria*. Com coloração avermelhada, sabor característico acidificado e alto conteúdo de vitaminas, mineiras e compostos fenólicos o morango é apreciado por seus efeitos anti-inflamatórios, anticancerígenos e antioxidantes. (CAMPANIELLO et al., 2008; DA SILVA PINTO; LAJOLO; GENOVESE, 2008; DZHANFEZOVA et al., 2020; TENG et al., 2017; WANG et al., 2017).

Estudos *in vitro* apontam que o extrato de morango está dentre aqueles com a maior atividade antioxidante, dessa maneira traz benefícios à saúde e a qualidade de vida humana. (DA SILVA PINTO; LAJOLO; GENOVESE, 2008; VIZZOTTO et al., 2012)

Por ser um pseudofruto succulento não climatérico, é ideal que ele seja colhido quando se encontra em plena maturidade, pois é nesse estágio que suas características de qualidade, cor, textura e flavor (teores de açúcares, compostos voláteis e acidez), estão nas proporções ideais para agradar a visão, olfato e paladar do consumidor (CHU et al., 2020; HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2008; NADIM et al., 2015).

Após a colheita, o morango tem uma vida útil muito reduzida, pois como possui uma camada externa muito fina e frágil, fica muito susceptível a perda de água, injúrias mecânicas, ataques por fungos assim como alterações de cor. Estima-se que cerca de 30-40% dos frutos são perdidos após a colheita em decorrência de sua fragilidade, taxa metabólica e atividade respiratória. A taxa metabólica assim como a atividade respiratória são diretamente influenciadas pela composição atmosférica à qual os frutos são submetidos, sendo um fator determinante para retardar ou acelerar a senescência do fruto (FILHO et al., 2018; HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2006; PERETTO et al., 2014; TREVIÑO-GARZA et al., 2015; YARAHMADI et al., 2014).

A utilização de refrigeração tem sido o principal método para preservar a vida útil do morango, mas mesmo assim, geralmente não passa de 5 dias, e para morangos minimamente processados esse tempo é ainda mais reduzido (CAMPANIELLO et al., 2008). Para Ávila et al., (2012), a temperatura ideal para evitar o desenvolvimento de podridões e minimizar a taxa metabólica é entre 0 e 1° C. Já para Ke et al., (1994), outro método eficaz para reduzir o apodrecimento dos frutos é a combinação de níveis elevados de CO₂ e baixas temperaturas,

porém um efeito adverso observado nesse caso é o desenvolvimento de sabor estranho nos frutos, resultado da longa exposição dos morangos à altas concentrações de CO₂.

Como já exposto, uma das principais causas da curta vida útil do morango é o ataque por fungos. Esse ataque provoca a principal doença dessa cultura, o mofo cinzento, causado pelo fungo *Botrytis cinerea*, que leva os morangos à podridão nas fases de pré e pós colheita, e que quando não controlado pode gerar perdas de até 60% da colheita (LORENZETTI et al., 2011; MOURA et al., 2016)

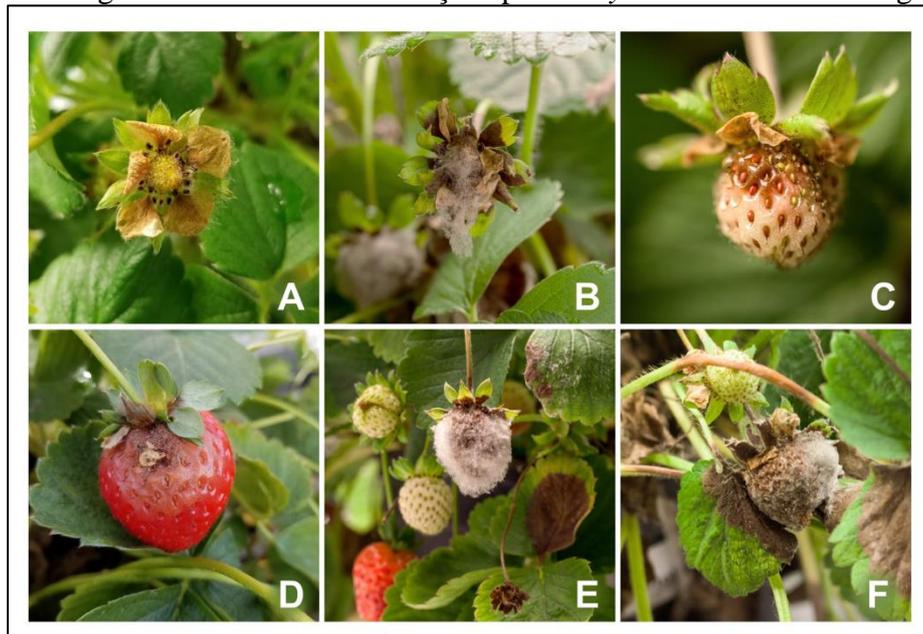
3.2 BOTRYTIS CINEREA

Também conhecido como mofo cinzento, *Botrytis cinerea* é um fungo ascomiceto da família Sclerotiniceae, gênero Botryotinia, um fitopatógeno que traz danos severos a frutas e hortaliças tanto no período pré quanto no pós colheita (STAATS; VAN BAARLEN; VAN KAN, 2005).

O *B. cinerea* é um parasita necrotrófico, causa deterioração nos tecidos vegetais e morte celular do hospedeiro. Os principais alvos de seus ataques são as flores e os frutos, porém também são capazes de provocar manchas nas folhas e podridão de bulbos. As culturas de frutas como uvas, morangos, framboesas e amoras assim como as culturas de hortaliças como alface e repolho são certamente as mais severamente afetadas pelo fungo, no entanto raízes tuberosas como cenoura e batata-doce não ficam de fora da lista das mais de 1.000 espécies de plantas que podem ser hospedeiros deste fungo (DROBY; LICHTER, 2007; ELAD et al., 2015; STAATS; VAN BAARLEN; VAN KAN, 2005).

A entrada do fungo geralmente ocorre por feridas ou aberturas naturais do hospedeiro (HOLZ; COERTZE; WILLIAMSON, 2007) e o desenvolvimento nos tecidos infectados produz um micélio cinza altamente esporulado, como é possível observar na Figura 1. Esses esporos, também chamados de macroconídios, conseguem ser transportados pelo vento por longas distâncias até encontrar seu próximo hospedeiro. A chuva também é um fator que favorece a dispersão, pois gera movimentos bruscos nos tecidos infectados a partir das gotas de chuva, além disso, a alta umidade propicia o desenvolvimento da infecção. Geralmente a infecção inicia-se pelas flores senescentes e depois se espalha e alcança os frutos em desenvolvimento. Muitas vezes este fungo se mantém em estágio quiescente por longos períodos de tempo, até que a fisiologia do hospedeiro e o ambiente sejam propícios para que se comece o apodrecimento dos tecidos (DIK, 1991; STAATS; VAN BAARLEN; VAN KAN, 2005; VAN DEN HEUVEL, 1981; WILLIAMSON et al., 2007).

Figura 1 - Sintomas de infecções por *Botrytis cinerea* em morango



Fonte: Modificado de Petrasch et al., (2019)

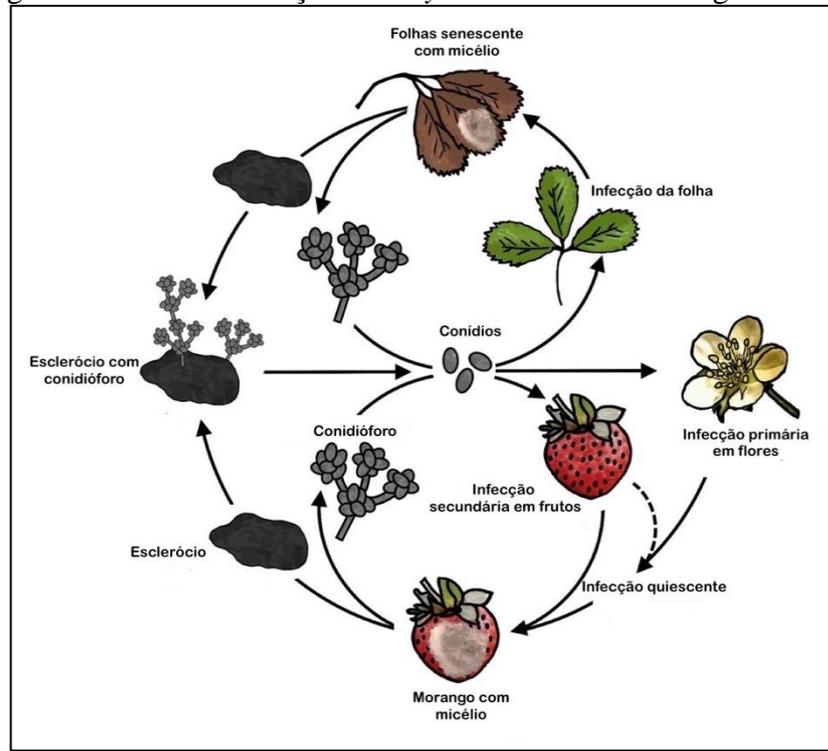
Existem três tipos de quiescência descritos na literatura: atraso na germinação dos conídios (JARVIS, 1994); desenvolvimento endofítico assintomático no apoplasto (espaços externos a membrana plasmática) (BARNES; SHAW, 2007; SOWLEY; SHAW; DEWEY, 2010); colonização de pétalas em abscisão seguida de desenvolvimento nos ovários ou receptáculos onde o desenvolvimento é interrompido (BRISTOW; MCNICOL; WILLIAMSON, 1986). Independentemente do tipo de infecção, primeiramente há sempre uma curta fase assintomática, seguida de uma fase agressiva necrotrófica, que ocorre quando os órgãos da planta começam o processo de envelhecimento ou amadurecimento, onde os tecidos infectados são rapidamente decompostos pelo *B. cinerea*. (ELAD et al., 2007; VELOSO; VAN KAN, 2018).

O *B. cinerea* também é capaz de secretar fatores de virulência no hospedeiro e assim induzi-lo mais rapidamente a uma morte celular. Esses fatores de virulência podem ser toxinas, proteínas efectoras, enzimas que produzam espécies reativas de oxigênio (SCHUMACHER, 2015), assim como ácido oxálico. O ácido oxálico é capaz de diminuir o pH dos tecidos, e quando esse é acumulado nos tecidos leva à quelação de Ca^{2+} , que enfraquece as estruturas de pectina das paredes celulares da planta, permitindo com que o fungo consiga penetrar nos tecidos mais facilmente (BLANCO-ULATE et al., 2015; CHAKRABORTY et al., 2013).

Em morangos há duas possibilidades de infecção, ilustradas na Figura 2: a infecção chamada primária, que ocorre em flores abertas, e a infecção secundária, que ocorre por

penetração nos tecidos do receptáculo de frutos (BRISTOW; MCNICOL; WILLIAMSON, 1986).

Figura 2 - Ciclo da doença de *Botrytis cinerea* em morangos



Fonte: Modificado de Petrasch et al., (2019)

Um fator que influencia na susceptibilidade do fruto do morango ao ataque por *Botrytis cinerea* é o seu estágio de maturação. Quando verdes, os morangos são mais resistentes à infecção, e acabam restringindo o crescimento do fungo, levando esse à um estado de quiescência. Quando maduros, são altamente susceptíveis e se degradam rapidamente, desta maneira *B. cinerea* ativa processos específicos de amadurecimento nos frutos verdes infectados, para que esses atinjam mais rapidamente o estágio maduro e se tornem mais susceptíveis à infecção (BLANCO-ULATE et al., 2015).

Com a ascensão do comércio internacional de produtos vegetais que demandam cadeia do frio, o fungo *B. cinerea* se tornou um grande problema, pois consegue se desenvolver mesmo em temperaturas perto de 0 °C. Por conseguir se manter inativo por longos períodos, é comum se desenvolverem em culturas aparentemente saudáveis, durante o transporte, armazenamento, na gôndola do supermercado ou até mesmo na residência do consumidor. O prejuízo dos consumidores normalmente é desconsiderado pelos produtores e varejistas, já que esses conseguiram obter renda pela venda do produto, não obstante um cliente insatisfeito pode gerar uma perda econômica inestimável, uma vez que pode ficar semanas sem comprar

novamente o produto, ou nunca mais voltar a comprar o mesmo. (DEAN et al., 2012; WILLIAMSON et al., 2007).

Atualmente algumas estratégias têm sido utilizadas na tentativa de controlar o mofo cinzento em morangos, entre elas estão as práticas agrícolas e hortícolas, o uso de fungicidas, as práticas de biocontrole e os tratamentos pós colheita. Porém, nem utilizando as abordagens combinadas é possível eliminar completamente o fungo, apenas reduzir a incidência e gravidade da infecção (FELIZIANI; ROMANAZZI, 2016).

As práticas agrícolas para evitar as infecções por *B. cinerea* mais utilizadas são: remoção do material vegetal senescente, que previne o acúmulo de inóculo; utilização de materiais que cubram o solo para prevenir o contato entre o fruto e o solo, pois o solo possui maior umidade o que propicia a germinação dos conídios do fungo (DAUGAARD, 1999). A escolha de um sistema de irrigação por gotejamento ou microaspersão é essencial para reduzir o filme de água sobre o fruto e a incidência de inóculo (DARA et al., 2016; TERRY; CHOPE; GINÉ BORDONABA, 2007). Além disso, o espaçamento adequado entre as plantas também tem influência, quanto menor o espaço entre as plantas maior a incidência do fungo (LEGARD et al., 2005).

O uso de fungicidas é uma das práticas mais comuns para o controle de *B. cinerea*, porém, com o aumento da resistência aos fungicidas e restrições legais quanto ao uso desses, os produtores estão sendo obrigados a diversificar seus usos, combinando e alternando entre diferentes fungicidas com diferentes modos de ação (VELLICCE et al., 2006; WEDGE et al., 2007, 2013). Um dos fatores de relevância na aplicação de fungicidas é a frequência e o momento de aplicação desses, por exemplo: Segundo Mertely et al., (2002), uma aplicação de fenhexamida (FRAC 17) no momento de maturação da flor pode ser tão eficiente quanto múltiplas aplicações semanais. A resistência aos fungicidas tem se tornado um grande desafio na horticultura uma vez que o custo para o desenvolvimento de novos pesticidas é elevado (WILLIAMSON et al., 2007) e requer muita pesquisa.

O biocontrole de *B. cinerea* em morangos é feito principalmente por *Bacillus subtilis*, porém a aplicação em produção comercial ainda é muito pequena (PERTOT et al., 2017), contudo é de grande interesse social e científico que o biocontrole tome cada vez mais espaço e substitua pesticidas químicos. Peng e Sutton, (1991), relatam que o biocontrole tem demonstrado alta eficiência em reduzir 79% a 93% a incidência de *B. cinerea* em estames de morango e 48% a 76% em frutos. O biocontrole via microrganismos pode ser feito a partir de diferentes modos de ação: competição por nutrientes; liberação de compostos antibióticos que induzem o sistema de defesa do hospedeiro (LIMA et al., 1997; MCCORMACK; WILDMAN;

JEFFRIES, 1994). A utilização de uma variedade de microrganismos combinados tem se mostrado mais eficiente para o controle de *B. cinerea*. Como alternativa ao uso de microrganismos vivos, podem ser utilizados extratos voláteis produzidos pelos microrganismos de biocontrole, além disso o uso de substâncias fungicidas não sintéticas ricas em fenol mostrou controlar o crescimento do fungo *in vitro* e em frutos de morango (HUANG et al., 2011; SYLLA et al., 2015; VAGELAS et al., 2009; XU; JEGER, 2013) . Não obstante, a aplicação de biocontrole em escala comercial ainda é inviável devido ao alto custo de implementação em comparação com o controle por pesticidas (PETRASCH et al., 2019).

Os tratamentos pós colheitas também são utilizados para prevenir infecções por *B. cinerea*, práticas como resfriamento rápido a temperaturas abaixo de 2,5 °C (NUNES et al., 1995), armazenamento em atmosferas modificadas (FELIZIANI; ROMANAZZI, 2016), armazenamento em umidade relativa de 85% a 90% (ALMEIDA et al., 2015b) já são bastante utilizadas. No entanto, novos tratamentos estão sendo estudados a fim de preservar melhor os frutos do morangueiro, tais como: produção de revestimentos para a fruta feitos a partir de quitosana, metilcelulose que diminuem a perda de água e podem ser adicionadas de compostos antifúngicos (HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2008; NADIM et al., 2015); tratamento com o regulador endógeno metil jasmonato (MJ) com objetivo de induzir o mecanismo de defesa do fruto (ZHANG et al., 2006); tratamento com luz ultra violeta (SAKS et al., 1996); armazenamento em atmosfera modificada com cloro ou ozônio (AVIS et al., 2010; NADAS et al., 2003); tratamento com plasma frio (ZIUZINA et al., 2020b). Toda via a maioria dessas abordagens ainda está em fase experimental e nem sempre é compatível com a escala de produção comercial (PETRASCH et al., 2019).

3.3 TRATAMENTOS NÃO TÉRMICOS

A demanda do consumidor por alimentos frescos e *in natura* é cada vez maior, porém métodos convencionais de preservação de alimentos tais como, pasteurização, esterilização, secagem e evaporação, garantem a segurança microbiológica e a estabilidade do alimento, mas podem causar perdas de componentes alimentares como vitaminas e polifenóis sensíveis ao calor. Esses métodos convencionais de preservação de alimentos, se baseiam na geração de calor fora do alimento e na transferência do mesmo a partir de condução e/ou convecção. Apesar de muito utilizadas, esses métodos ainda são limitados por conta de perdas de calor na superfície dos equipamentos, redução da transferência de calor e danos por superaquecimento (LIMA et al., 2014; PEREIRA; VICENTE, 2010).

Em busca por tratamentos alternativos que não utilizem temperaturas elevadas para a conservação dos alimentos, surgem os tratamentos não térmicos, que vêm sendo muito estudados e se mostram promissores para a substituição parcial ou total dos tratamentos térmicos convencionais (ZHANG et al., 2019b). Os tratamentos não térmicos têm a capacidade de eliminar os microrganismos sem a utilização de altas temperaturas, preservando atributos de qualidade dos alimentos, como cor, sabor, textura e valor nutricional (PEREIRA; VICENTE, 2010).

Os tratamentos não térmicos mais estudados podem ser divididos em dois grupos. No primeiro encontram-se a alta pressão hidrostática, luz ultravioleta (UV), luz pulsada, ultrassom e campo elétrico pulsado combinado com calor. Já no segundo grupo, encontram-se tecnologias que são consideradas puramente não térmicas, como o plasma frio e irradiação (LI; FARID, 2016).

Em tecnologias esterilizantes não térmicas, os dois principais mecanismos de ação são: alteração da estrutura da membrana celular do microrganismo e a destruição de material genético, causando distúrbios metabólicos no microrganismo (ZHANG et al., 2019b). Além disso os tratamentos não térmicos têm a capacidade inibir a atividade de enzimas como lipoxigenase, polifenoloxidase, peroxidase e pectina esterase dos alimentos (CULLEN; TIWARI; VALDRAMIDIS, 2011; FELLOWS, 2009).

Processamento com alta pressão hidrostática, traduz-se na aplicação de pressões entre 300 a 600 MPa em temperaturas menores que 50° C. Utilizado em alimentos embalados, pré-embalados ou a granel. Seu principal mecanismo de desinfecção resume-se a destruição irreversível da estrutura celular microbiana, porém relata-se que esporos bacterianos são um ponto crítico do processo, onde apenas combinação de pressões mais altas e calor conseguem reduzir o número de esporos viáveis. Seus pontos positivos estão nas mínimas alterações de sabor, odor, aparência, textura e valor nutricional dos alimentos, quando não combinados com métodos que utilizam calor (RENDUELES et al., 2011).

O tratamento com luz ultravioleta consiste na aplicação de lâmpadas ultravioletas sobre o objeto que se deseja desinfetar. Muito utilizado para a desinfecção de superfícies, do ar, e de líquidos. Seu mecanismo de desinfecção tem como princípio a alteração do DNA do microrganismo levando-o a morte, relata-se que os comprimentos de onda entre 250-260 nm são os mais letais para a maioria das bactérias, vírus, protozoários, micélios de fungos, leveduras e algas. Seus principais benefícios são mínimas alterações de cor, sabor, odor e pH, não utiliza nenhum produto químico e não deixa nenhum resíduo no produto tratado, em contrapartida sua capacidade de penetração é baixa e sem a combinação com outro método de

tratamento térmico não consegue inativar esporos bacterianos. Além disso, por possuir ondas curtas pode danificar os olhos humanos e a longa exposição pode gerar queimaduras e causar câncer na pele humana (BINTSIS; LITOPOULOU-TZANETAKI; ROBINSON, 2000).

O tratamento com luz pulsada, consiste na aplicação de pulsos curtos e intensos de luz branca em um espectro que abrange tanto o ultravioleta quanto o infravermelho. Quando comparada com a luz UV, a luz pulsada traz mais vantagens da desinfecção, pois tem uma capacidade de penetração em superfícies superior, mesmo em materiais opacos, e consegue inativar esporos bacterianos sem combinação com outro tratamento. Seus mecanismos de inativação microbiana se assemelham ao da luz UV, no entanto além de danos ao DNA, a luz pulsada também causa danos à estrutura celular (CHEIGH et al., 2012; LI; FARID, 2016).

O tratamento com ultrassom caracteriza-se pelo uso de ondas mecânicas em frequências que variam de 20 a 80 kHz e são imperceptíveis a audição humana. Embora sua aplicação em alimentos ainda seja muito recente, além de ajudar na preservação, inativando microrganismos e enzimas, podem ser utilizados para processos de desgaseificação, remoção de espuma, filtração, emulsificação, e extração de ativos de alimentos. Seu mecanismo de inativação consiste no rompimento da célula microbiana e na desnaturação de enzimas. O uso do ultrassom ainda pode ser combinado com tratamentos térmicos, diminuindo o tempo de aplicação desse último. Suas vantagens quando comparadas com processos de esterilização térmica são mínimas perdas de sabor, maior homogeneidade na esterilização e uma significativa economia de energia, por outro lado seu custo de implementação é muito elevado (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011).

A tecnologia de campo elétrico pulsado consiste na aplicação de pulsos elétricos de alta tensão com intensidades que variam de 20 a 80 kVcm⁻¹. A aplicação em alimentos se dá através do posicionamento do alimento entre dois eletrodos, e ocorre por um curto período de tempo (escala de microssegundos). Esse método é muito utilizado em alimentos líquidos ou semifluidos que se encontrem em baixas temperaturas. O mecanismo de inativação microbiana está essencialmente ligado a capacidade do campo elétrico pulsado de gerar uma quebra elétrica das membranas celulares. O grau de esterilização depende da intensidade do campo, tempo de aplicação, temperatura de tratamento, assim como fatores relacionados ao tipo de célula, como tamanho, forma e orientação do campo elétrico na mesma (SHARMA et al., 2014; ZHANG et al., 2019b).

A irradiação de alimentos está baseada na aplicação de radiações ionizantes, como raios gama emitidos por ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs, elétrons de alta energia ou raios X emitidos por equipamentos. O mecanismo de esterilização caracteriza-se pelo dano irreversível causado

pelas radiações ionizantes no DNA, inativando as células vivas e impossibilitando a reprodução de microrganismos, de gametas de insetos e de meristemas vegetais. Essa tecnologia pode ser aplicada em alimentos pré-embalados e em produtos a granel, como ervas, condimentos e especiarias, no entanto um grande empecilho da popularização desse método é associação do consumidor com a tecnologia nuclear, que o faz questionar a segurança de um alimento irradiado (FARKAS, 2006; JUNG et al., 2015; MOSTAFAVI; MIRMAJLESSI; FATHOLLAHI, 2012; ZHANG et al., 2019b).

3.4 PLASMA FRIO

O plasma frio (PF) é uma tecnologia emergente de processamento não térmico que garante a qualidade e a segurança de alimentos, além disso é considerada uma tecnologia de processo verde, pois é ecologicamente correta e não utiliza produtos químicos (CHEN et al., 2019b).

Plasma, também designado como quarto estado da matéria, pode ser descrito como um gás praticamente neutro, composto por várias espécies atômicas, moleculares, iônicas, radicais livres, elétrons livres e fótons. Para atingir o quarto estado da matéria é necessário aumentar o nível de energia de um material para o converter do estado sólido para líquido, de líquido para gás e de gás para um estado de gás ionizado, o plasma (BOURKE et al., 2017; SRUTHI et al., 2022b).

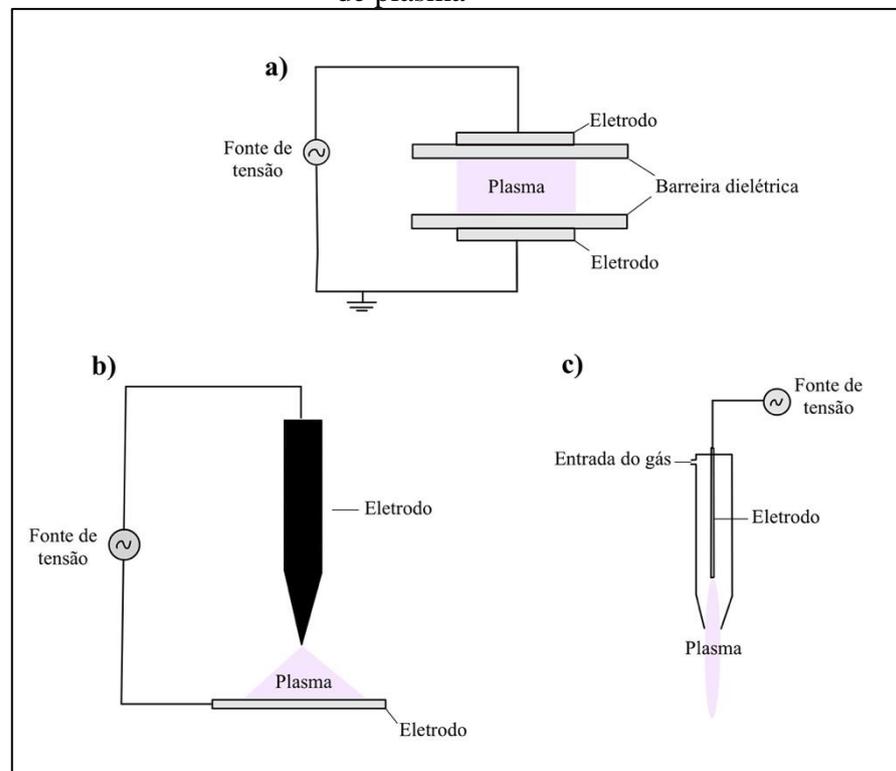
A geração do plasma ocorre pela aplicação de descargas elétricas à um gás neutro. Existem diferentes tipos de descargas elétricas utilizadas para a geração do plasma: descarga corona; descarga de micro-ondas; descarga de arco deslizante; descarga de barreira dielétrica (DBD); e jato de plasma (SCHOLTZ et al., 2015). Dentre essas, as mais utilizadas para aplicações ambientais, biológicas e biomédicas são o jato de plasma e a descarga de barreira dielétrica (BOURKE et al., 2017).

O plasma pode ser classificado em dois grupos, onde o critério para a classificação é a temperatura dos elétrons ou o equilíbrio térmico entre íons e elétrons, dessa maneira existe o plasma térmico e o plasma frio (TENDERO et al., 2006). No plasma térmico, a temperatura dos elétrons, dos íons neutros e do gás é a mesma, e este é gerado quando o calor fornecido para a ionização está na ordem de 20.000 K (MISRA et al., 2011). Já no plasma frio, os íons e o gás têm temperatura mais baixa que os elétrons, pois a energia aplicada apenas aumenta a temperatura dos elétrons e não de todo o fluxo de gás (WAGHMARE, 2021).

Fatores como a tensão aplicada, a fonte do plasma, o tipo de gás utilizado, o teor de umidade do gás, e o tempo de aplicação do plasma influenciam muito no tipo de espécies reativas que serão formadas (REINEKE; MATHYS, 2020).

A escolha do gás utilizado pode variar dependendo do produto ao qual o plasma será aplicado, a utilização do ar atmosférico é a opção preferencial dos estudos, no entanto outros gases geralmente utilizados são: O₂; N₂; CO₂; além desses ainda podem ser utilizados gases mais nobres, como argônio, hélio ou uma mistura de vários gases (COUTINHO et al., 2018; WAGHMARE, 2021).

Figura 3 - Sistemas de Plasma (a) Descarga de barreira dielétrica (b) Descarga corona (c) Jato de plasma



Fonte: Autora, (2023)

O plasma com descarga de barreira dielétrica como mencionado anteriormente é um dos sistemas mais utilizados, representado na Figura 3 a). A descarga elétrica ocorre entre dois eletrodos recobertos por uma camada de material dielétrico, que pode ser tanto, polímeros, quartzo ou cerâmica. A distância entre os eletrodos pode variar de 0,1 mm até 100 mm (SCHOLTZ et al., 2015). A descarga corona, representada na Figura 3 b) apresenta uma descarga a partir de um eletrodo com borda afiada, dessa maneira proporciona uma descarga irregular o que a deixa menos interessante para operações em escala maior (ZHANG et al.,

2017). Já o jato de plasma, na Figura 3 c), não é propriamente um tipo de descarga, mas sim uma configuração especial de descarga. Na qual há a sopragem do gás de dentro do eletrodo pra fora do mesmo, e assim a formação de um pequeno jato (SCHOLTZ et al., 2015).

A aplicação de plasma frio na indústria alimentícia tem cada vez mais aumentado, sendo utilizada em uma vasta variedade de produtos, como: frutas; verduras; sucos; laticínios; farinhas e produtos secos; e carnes. Sua utilização pode remover pesticidas de produtos frescos, pode aumentar a germinação e crescimento de sementes, pode preservar propriedades de qualidade de alimentos, pode inativar microrganismos deteriorantes e patogênicos (ZHANG et al., 2019a), pode descontaminar superfícies de processamento, pode esterilizar materiais e embalagens e pode tratar água poluída (MISRA et al., 2011).

3.5 EFEITOS DO PLASMA FRIO SOBRE COMPONENTES BIOATIVOS

Os efeitos do plasma frio sobre diferentes componentes alimentares têm sido profundamente pesquisados, porém ainda há muitas incertezas para descrever os mecanismos de interação entre as espécies reativas do plasma com os compostos orgânicos com pequeno peso molecular. Isso se deve a enorme variedade de compostos reativos que podem ser gerados pelo plasma, dependendo de seus parâmetros de processamento (SRUTHI et al., 2022b).

Componentes bioativos são metabólitos secundários presentes nos tecidos vegetais, são eles: polifenóis; antocianinas; flavonoides; antioxidantes e vitaminas (SRUTHI et al., 2022b; WAGHMARE, 2021).

3.5.1 Polifenóis

Polifenóis são componentes presentes em frutas e vegetais, esses têm a função de proteger os alimentos da atividade de radicais livres, preservando sua qualidade. Quando ingeridos auxiliam em processos anti-inflamatórios, antioxidantes e antimicrobianos do corpo humano (SRUTHI et al., 2022b). O impacto do plasma frio sobre os polifenóis depende muito do alimento ao qual ele é aplicado. Em alguns casos ele pode aumentar o conteúdo desse componente e em outros pode diminuir, como pode ser observado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Efeito do plasma frio sobre os polifenóis

Alimento	Polifenóis após tratamento	Fonte
Suco de acerola	↓	(FERNANDES; SANTOS; RODRIGUES, 2019)
Suco de uva branca	↓	(PANKAJ et al., 2017)
Suco de maçã	↓	(LIAO et al., 2018)
Suco de tomate	↓	(ALI; CHENG; SUN, 2021)
Achocolatado	↓	(COUTINHO et al., 2019)
Suco de mirtilo	↑	(HOU et al., 2019)
Suco de romã	↑	(HERCEG et al., 2016)
Suco de caju	↑	(RODRÍGUEZ et al., 2017)
Nozes	↔	(AMINI; GHORANNEVISS, 2016)
Pimenta do reino	↔	(CHAROUX et al., 2020)
Maças frescas	↔	(RAMAZZINA et al., 2016)

↓ diminuição, ↑ aumento, ↔ alteração insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.5.1 Antocianinas

As antocianinas são os biocompostos responsáveis por dar a coloração vermelhas, roxas, e azuis nas plantas, essas possuem efeitos antioxidantes e ficam localizadas no vacúolo celular da planta. A aplicação de plasma frio se mostrou capaz de aumentar esse biocomposto em alguns alimentos e diminuir em outros (SRUTHI et al., 2022b), como pode-se observar na tabela abaixo.

Tabela 2 - Efeito do plasma frio sobre as antocianinas

Alimento	Antocianinas após tratamento	Fonte
Mirtilo	↓	(HOU et al., 2019)
Suco de romã	↑	(HERCEG et al., 2016)
Suco de cereja marasca	↑	(ELEZ GAROFULIĆ et al., 2015)
Suco de camu-camu	↑	(DE CASTRO et al., 2020)

↓ diminuição, ↑ aumento, ↔ alteração insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.5.2 Flavonoides

Com suas características antimutagênicas, antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, os flavonoides são importantíssimos para alcançar a estabilidade química dos alimentos após o seu processamento (SRUTHI et al., 2022b). Os efeitos sobre os flavonoides em diferentes alimentos podem ser observados na tabela a seguir:

Tabela 3 - Efeito do plasma frio sobre os flavonoides

Alimento	Flavonoides após tratamento	Fonte
Alface-de-cordeiro	↓	(GRZEGORZEWSKI et al., 2011)
Suco de tomate	↓	(ALI; CHENG; SUN, 2021)
Suco de laranja	↓	(ALMEIDA et al., 2015a)
Cereja marasca	↓	(HOSSEINI et al., 2021)
Suco de uva	↓	(PANKAJ et al., 2017)
Pó de pétala de lótus	↑	(DAKSHAYANI; PAUL; MAHENDRAN, 2021)
Mirtilo	↑	(SARANGAPANI et al., 2017)

↓ diminuição, ↑ aumento, ↔ alteração insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.5.3 Antioxidantes

Antioxidantes podem ser classificados como compostos fenólicos, vitamina C e vitamina E, esse são responsáveis por suprir os radicais livres e prevenir a oxidação, preservando por mais tempo a qualidade dos alimentos (SRUTHI et al., 2022b). O efeito sobre a atividade antioxidante em alimentos após o tratamento com plasma está descrito na tabela a seguir:

Tabela 4 - Efeito do plasma frio sobre a ação antioxidante

Alimento	Antioxidantes após tratamento	Fonte
Suco de maçã	↓	(LIAO et al., 2018)
Suco de mirtilo	↓	(HOU et al., 2019)
Achocolatado	↓	(COUTINHO et al., 2019)
Suco de laranja prebiótico	↓	(ALMEIDA et al., 2015a)
Pepino fresco	↓	(WANG et al., 2012)
Suco de tomate	↓	(ALI; CHENG; SUN, 2021)
Suco de caju	↑	(RODRÍGUEZ et al., 2017)
Folhas de chá verde	↑	(KESHAVARZI et al., 2020)
Suco de camu-camu	↑	(DE CASTRO et al., 2020)

Chicória vermelha	↔	(PASQUALI et al., 2016)
Brotos de rabanete	↔	(OH; SONG; MIN, 2017)
Cebola em pó	↔	(KIM et al., 2017)

↓ diminuição, ↑ aumento, ↔ alteração insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.5.4 Vitaminas

As vitaminas mais estáveis em alimentos são a biotina, a riboflavina e a piridoxina (ALTEMIMI et al., 2017). Já as vitaminas mais instáveis são a tiamina, o ácido fólico, o tocoferol, o ácido ascórbico e o retinol. As pesquisas geralmente levam em consideração as alterações dessas vitaminas mais instáveis para avaliar o efeito do tratamento (SRUTHI et al., 2022b). Na tabela abaixo estão mostrados os resultados das vitaminas A, C, e B para diferentes alimentos após o tratamento com plasma frio.

Tabela 5 - Efeito do plasma frio sobre as vitaminas

Alimento	Vitaminas após tratamento	Fonte
Suco de acerola	↑ vit. A, ↔ vit. C	(FERNANDES; SANTOS; RODRIGUES, 2019)
Suco de mirtilo	↓ vit. C	(HOU et al., 2019)
Suco de seriguela	↓ vit. A, ↔ vit. C, B	(PAIXÃO et al., 2019)
Tangerinas	↔ vit. C	(WON; LEE; MIN, 2017)
Suco de tomate	↔ vit. C	(ALI; CHENG; SUN, 2021)
Peras frescas	↔ vit. C	(CHEN et al., 2019a)
Mirtilo	↑ vit. C	(SARANGAPANI et al., 2017)
Suco de caju	↑ vit. C	(RODRÍGUEZ et al., 2017)
Suco de laranja prebiótico	↑ vit. C	(ALMEIDA et al., 2015a)

↓ diminuição, ↑ aumento, ↔ alteração insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Como observa-se nos resultados das pesquisas citadas acima, cada alimento possui uma interação diferente com os componentes do plasma frio, dessa maneira os compostos bioativos podem ser favorecidos em alguns alimentos e desfavorecidos em outro. No entanto deve-se levar em consideração que os parâmetros do próprio plasma frio podem mudar as interações entre os componentes do alimento e suas espécies reativas. Observa-se na Tabela 6 que mesmo num mesmo alimento, o morango, pesquisas com diferentes parâmetros de voltagem e tempo de aplicação chegaram a resultados diferentes.

Tabela 6 - Efeitos do plasma sobre compostos bioativos em morangos

Alimento	Tensão aplicada	Tempo	Efeitos	Fonte
Morango	60 kV	15 min	↑ fenólicos ↑ antioxidantes	(RANA et al., 2020)
Morango	80 kV	1 min e 5 min	↓ vit. C ↔ antocianinas	(MISRA et al., 2015)
Morango	45 kV	1 min	↑ antioxidantes ↑ fenólicos ↑ vit. C	(LI et al., 2019)

↓ diminuição, ↑ aumento, ↔ alteração insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.6 EFEITOS DO PLASMA FRIO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

A aplicação de plasma frio em produtos alimentícios pode levar a alterações de massa, cor, textura, pH, acidez e teor de açúcares, como consequência da interação com as distintas espécies de gases reativos gerados pelo mesmo.

3.6.1 Perda de peso

A redução de peso em frutas ocorre devido à diminuição de sua massa total, que é causada pela eliminação de água através do processo de transpiração ou respiração (SOGVAR; KOUSHESH SABA; EMAMIFAR, 2016). A água é um dos principais componentes das frutas, correspondendo a aproximadamente 80-95% do seu peso (BAUER; WALLY; PETER, 2014). Portanto, qualquer procedimento que resulte na eliminação de água pode levar à redução de peso nas frutas.

O processo de perda de água acontece naturalmente durante o amadurecimento da fruta. Entretanto, fatores externos como temperatura, umidade relativa do ar e a presença de agentes patogênicos podem intensificar a perda de água e, assim, a diminuição do peso da fruta (PEREIRA et al., 2006).

Nas pesquisas de Rana et al., (2020) e Giannoglou et al., (2021), que avaliaram os efeitos do processamento com plasma frio em morangos, não foi observada diferença significativa no percentual de perda de peso dos frutos logo após o tratamento. No entanto, durante o armazenamento observou-se que o aumento da temperatura e tempo de armazenamento causaram um aumento significativo na perda de peso dos morangos em todas

as amostras estudadas (GIANNOGLOU et al., 2021). Já em uma pesquisa realizada com aplicação do plasma frio em figos observou-se uma redução da perda de peso nos figos tratados em relação aos figos controle (BURANA, 2021).

3.6.2 Cor

A cor é um dos atributos mais importantes na aceitabilidade de um produto pelo consumidor. Em alimentos, a cor está atribuída a presença de pigmentos (naturais ou sintéticos) e as reações químicas (enzimáticas ou não enzimáticas), e mesmo uma mínima alteração da mesma pode gerar um grande obstáculo para aceitação de produto (PANKAJ; WAN; KEENER, 2018).

Em alguns alimentos, como morango, maçã, tomate cereja, alface e cenoura, pesquisadores não relataram perda significativa de cor após o tratamento com plasma frio (BERMÚDEZ-AGUIRRE et al., 2013; MISRA et al., 2014a; NIEMIRA; SITES, 2008; ZIUZINA et al., 2016). No entanto, deve se levar em considerações que parâmetros como o tipo de produto, tensão de entrada, tempo, potência, gás utilizado, e condições de armazenamento afetam na cor do produto. O que foi o caso dos morangos em outro estudo de Misra et al., (2014b), que apresentaram uma coloração escura desagradável após o tratamento com PF. Em outro estudo, observou-se também a perda de cor em mirtilos quando esses passavam por um tempo de tratamento mais elevado (LACOMBE et al., 2015).

A alteração de cor pelo plasma frio pode ser explicada pela degradação parcial dos pigmentos clorofila e antocianinas (LACOMBE et al., 2015; RAMAZZINA et al., 2015). Porém, na maioria dos casos quando o tempo tratamento são curtos as alterações na cor do produto são mínimas (PANKAJ; WAN; KEENER, 2018).

3.6.3 Textura

A textura é considerada uma propriedade do material e influencia muito na qualidade alimentar e na experiência sensorial do consumidor (SRUTHI et al., 2022b). A textura de alimentos tratados com plasma frio pode ser alterada, pode haver a retenção por mais tempo da mesma, como relatam algumas pesquisas, pode haver a diminuição da firmeza dos produtos ou também pode não haver uma variação significativa. Frutas e vegetais frescos como, maçã, morango, melão e tomate cereja, não tiveram uma variação significativa da textura após o

tratamento com plasma (MISRA et al., 2014a; NIEMIRA; SITES, 2008; TAPPI et al., 2016; ZIUZINA et al., 2016).

Já em mirtilos, observou-se que a firmeza diminuiu após o tratamento com o plasma frio, esse amolecimento foi atribuído aos danos mecânicos proporcionados pelo alto fluxo de ar gerado pelo jato de plasma e o aumento da temperatura durante o tratamento (LACOMBE et al., 2015; SARANGAPANI et al., 2017). Em outro estudo de Misra et al., (2014b), observou-se que morangos em embalagens de atmosfera modificada com alto teor de oxigênio apresentaram retenção de textura, indicando que o gás do plasma tem influência sobre a textura do produto tratado. Wszelaki e Mitcham, (2000) sugerem que altas concentrações de oxigênio produzem estresse ao fruto reduzindo sua taxa de amadurecimento, ocasionando a retenção da textura dos morangos.

3.6.4 pH e acidez

O pH e acidez, são dois atributos de qualidade de extrema importância no controle de qualidade de um alimento, pois qualquer mudança drástica pode levar a sabores e texturas desagradáveis, além de impactar no prazo de validade do produto (PANKAJ; WAN; KEENER, 2018).

O tratamento com plasma frio, mostrou alterar o pH de alimentos devido a interação entre os gases reativos e umidade do alimento. Em alimentos sólidos a interação dos gases ocorre com a água superficial, formando compostos ácidos na superfície do alimento, enquanto em produtos líquidos o pH pode ser alterado como um todo (ALMEIDA et al., 2015a; PANKAJ; WAN; KEENER, 2018). A principal razão da acidificação após o tratamento com plasma frio atmosférico está na formação de ácido nítrico, induzida pelas espécies reativas de nitrogênio e a água (OEHMIGEN et al., 2010).

No estudo de Li et al., (2019) a acidez titulável em morangos apresentou-se maior em morangos tratados com plasma do que em morangos não tratados. No estudo de Ziuzina et al., (2020) os morangos não apresentaram variação de pH nem logo após aplicação nem durante o armazenamento, no entanto um resultado diferente foi encontrado no estudo de Rana et al., (2020), que observou uma diminuição do pH logo após os tratamentos com plasma por 10, 20 e 30 minutos.

3.6.5 Sólidos Solúveis Totais (SST)

Os sólidos solúveis totais de um alimento é um dos critérios mais importante de qualidade para indicar o teor de doçura do mesmo. A unidade de medida dos SST é dada em Graus Brix. Os SST são compostos principalmente por açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos solúveis, e outros componentes diversos como lipídios, minerais, álcoois e flavonoides (SRUTHI et al., 2022b; WEI et al., 2020).

O tratamento com plasma frio mostrou-se capaz de aumentar consideravelmente os SST de amostras de mirtilo (SARANGAPANI et al., 2017) e peras minimamente processadas. Esse aumento foi relacionado com a conversão de amido em açúcares (CHEN et al., 2019a). Em morangos o aumento de TSS também foi relatado nos estudos de Li et al., (2019) e Rana et al., (2020), onde nesse segundo, períodos maiores de aplicação do plasma frio, levaram a maiores aumentos nos SST. Já no estudo de Ziuzina et al., (2020) os valores de SST não apresentaram variação significativa quando comparados com morangos controle.

3.7 EFEITO DO PLASMA FRIO NA INATIVAÇÃO MICROBIOLÓGICA

Tratamentos com plasma frio se mostram uma alternativa efetiva para a inativação de microrganismos, especialmente patogênicos, deteriorantes, bactérias, micotoxinas, e fungos, como o *Botrytis cinerea* (CHUTIA et al., 2020; JACOFISKY; GA WATSON - US PATENT 9; 2016, 2016; MOHAMMADI et al., 2021; YINXIN et al., 2022).

O mecanismo de inativação do plasma é resultado da ação das espécies altamente energéticas do plasma, como seus fótons UV, elétrons, íons positivos e negativos, radicais livres, moléculas e átomos excitados (WAGHMARE, 2021). Segundo Scholtz et al., (2015) as principais espécies reativas formadas pelo plasma frio atmosférico são: oxigênio e nitrogênio excitados eletrônica e vibracionalmente; formas ativas de oxigênio, como oxigênio atômico, oxigênio singleto, ânion superóxido e ozônio; espécies reativas de nitrogênio, como nitrogênio atômico e óxido nítrico; e quando há presença de umidade, espécies como H_2O^+ , OH^- , radical OH e H_2O_2 , também podem ser formadas.

Alguns pesquisadores garantem que a exposição microbiana as radiações UV na faixa de comprimento de onda menores que 300 nm, gerados pelo PF, levam a alterações no DNA celular (FERNÁNDEZ; THOMPSON, 2012; NIEMIRA, 2012). Outros pesquisadores consideram as espécies reativas de oxigênio como as responsáveis pela inativação, por causarem grande estresse oxidativo e por consequência lesão celular, inativação enzimática e ruptura do DNA (MISRA et al., 2011; PANKAJ et al., 2017). A abordagem de Hertwig et al., (2015) afirma que são as espécies reativas de nitrogênio que se acumulam na superfície

microbiana, e difundem-se para as membranas celulares, ocasionando uma diminuição do pH intracelular, afetando as atividades enzimáticas, as taxas de reações metabólicas, a estabilidade das proteínas e da estrutura de DNA.

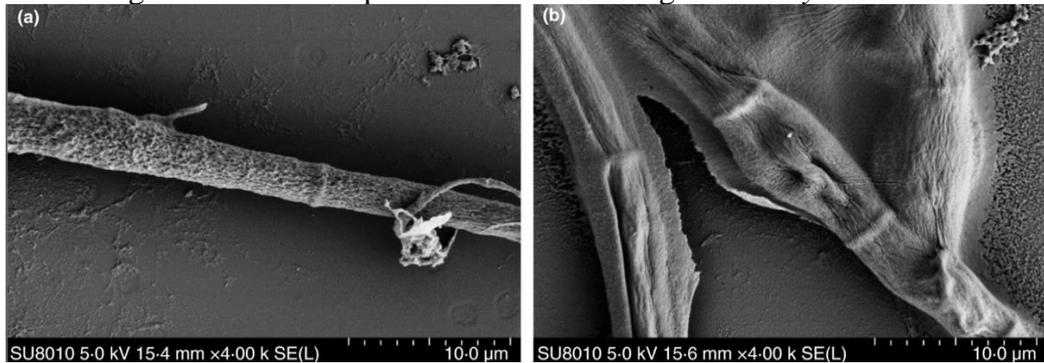
É provável que a combinação das radiações UV, as espécies reativas, e os produtos químicos reativos (O_3 , NO, etc.) gerados pelo plasma, trabalhem em conjunto para eliminar as células microbianas. Porém, a contribuição específica desses fatores depende do sistema do PF, do gás utilizado, das tensões aplicadas e do tempo de tratamento (NIEMIRA, 2012). No entanto, para Thirumdas, Sarangapani e Annapure (2015), a eficiência da inativação microbiana pelo plasma está intensamente ligada a presença de água, sendo mais fácil eliminar microrganismos úmidos do que microrganismos secos.

A inativação de microrganismos como: *Salmonella typhimurium*; *Bacillus cereus*; *Escherichia coli*; *Listeria monocytogenes*; *Candida albicans* e *Botrytis cinerea*, têm sido os principais alvos dos pesquisadores. Em sucos de tomate, observou-se uma redução de 6 log UFC/m de *Candida albicans* e *Saccharomyces cerevisiae*, quando tratados por 5 minutos com plasma frio atmosférico utilizando um reator GAD a uma tensão de 3,8 kV, frequência de 50 Hz e potência média de 40 W (STAREK et al., 2019). Já em presuntos, com a utilização de PF DBD com gás N_2 e CO_2 , uma tensão de 10 kV, frequência de 2 Hz e um tempo de 20 min, obteve-se uma redução de 1,14 log UFC de *Salmonella typhimurium* e a redução de 1,02 log UFC de *Listeria monocytogenes* (LIS et al., 2018). Em folhas de couve a redução foi de $5,5 \times 10^3$ UFC/mL de *Escherichia coli* O157:H7, utilizando um PF atmosférico de sistema DBD com uma tensão de 26 kV e frequência de 2500 Hz por 300 segundos (SHAH et al., 2019).

O PF também pode ser utilizado para a inibição de esporos microbianos, que sempre demandam parâmetros mais elevados de operação para serem eliminados. Em pó de cebola, a redução chegou a 2,1 log esporos/cm² de *Bacillus cereus*, 1,6 log esporos/cm² de *Aspergillus brasiliensis* e 1,9 log UFC/cm² de *Escherichia coli* O157:H7, com a utilização de PF gerado por micro-ondas de alta densidade a 250 mW/m² com gás hélio por 40 minutos (KIM et al., 2017).

A inativação do fungo *Botrytis cinerea* também é abordada em algumas pesquisas. Em mirtilos foi possível observar a inibição do crescimento dos mesmos pela utilização do plasma frio atmosférico DBD com tensão de 45 kV por 50 segundos. A inibição do crescimento se deu pela penetração na membrana celular e vazamento do material citoplasmático e ácido nucleico. Na Figura 4 observa-se uma microscopia eletrônica de varredura, onde em (a) encontram-se hifas saudáveis, enquanto em (b) hifas tratadas com PF, onde pode-se verificar que o micélio se dobrou e se colapsou (ZHOU et al., 2019).

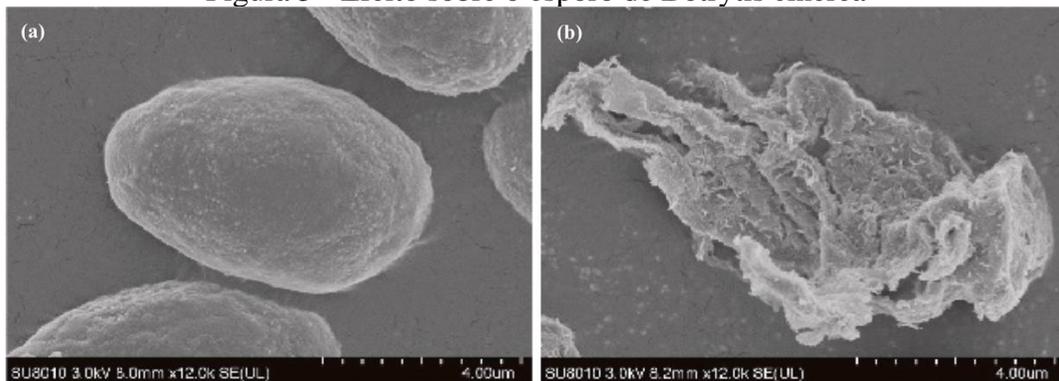
Figura 4 - Efeito do plasma frio na morfologia de *Botrytis cinerea*



Fonte: Modificado de Zhou et al., (2019)

A inativação de *B. cinerea* também foi observada em frutos de amora. Utilizou-se um plasma frio atmosférico com um único reator de descarga com nove tubos dielétricos. O tratamento de 3 minutos com uma força de 3V apresentou a menor taxa de decaimento dos frutos. Além de verificar a inibição do crescimento pelo mesmo mecanismo descrito por Zhou et al., (2019), o estudo de Yinxin et al., (2022) mostrou que o plasma frio consegue inativar esporos do fungo. A Figura 5 (a) apresenta um esporo de *B. cinerea* saudável, enquanto a Figura 5 (b) apresenta um esporo de *B. cinerea* após o tratamento com plasma, completamente destruído.

Figura 5 - Efeito sobre o esporo de *Botrytis cinerea*



Fonte: Modificado de Yinxin et al., (2022)

3.8 EFEITO DO TEMPO DE APLICAÇÃO DO PLASMA FRIO

É comum que o tempo de aplicação, tensão e frequência do plasma frio utilizados em um processo variem em diferentes pesquisas. Muitos estudos exploram diferentes tempos de aplicação e como esses afetam as características do produto em que o plasma frio está sendo aplicado.

No estudo de Rana et al., (2020), que trabalhou com aplicação de plasma frio em morangos com tempos variando de 10, 15 e 30 minutos, observou-se os sólidos solúveis totais (SST) aumentaram progressivamente à medida que os morangos foram expostos por mais tempo, sendo seu valor máximo obtido após 30 minutos de exposição. Esse resultado também foi encontrado em kiwis cortados, na pesquisa de Ramazzina et al., (2015), onde tratamentos com PF mais longos resultaram em um aumento nos SST dos kiwis durante o armazenamento de 4 dias.

No entanto, nesse mesmo estudo de Rana et al., (2020), assim como no estudo de Pankaj et al., (2017) constatou-se que o tratamento com duração mais longa pode levar a uma menor capacidade antioxidante em morangos e suco de uva branca, respectivamente.

Ainda falando da pesquisa Rana et al., (2020), pode-se dizer que o efeito do tempo de aplicação nos compostos fenólicos do morango mostrou que nem o mais longo (30 minutos) nem o mais curto (10 minutos), mas sim o tempo intermediário (15 minutos) foi o que conseguiu aumentar significativamente os compostos fenólicos da fruta (RANA et al., 2020).

Em outra pesquisa com aplicação de plasma frio em amoras, observou-se que conforme a intensidade do tratamento aumentava, ou seja, aplicava-se mais tensão por mais tempo, a perda de peso das amoras progressivamente diminuía (YINXIN et al., 2022).

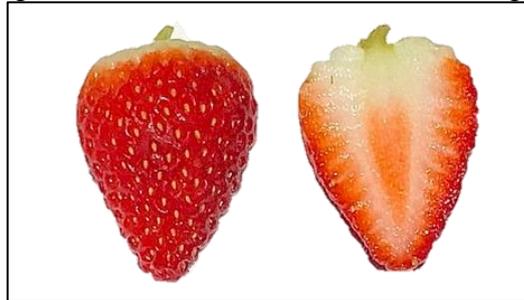
Em relação a redução de contagem de bactérias, leveduras e fungos, pesquisas sempre mostram resultados que apontam que o maior tempo de exposição do alimento ao plasma frio leva a uma redução significativa ou até mesmo nenhum crescimento desses microrganismos no alimento. Esse fenômeno ocorre tanto como efeito imediato após a aplicação do PF quanto durante o armazenamento do alimento (PANKAJ et al., 2017; PRASAD et al., 2017; RANA et al., 2020; TAPPI et al., 2016; YINXIN et al., 2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATÉRIA PRIMA E MANUSEIO

Morangos (*Fragaria x ananassa*) frescos e maduros no estágio de maturação comercial (3/4 da superfície do fruto com cloração vermelha) foram comprados em supermercado local em bandejas de tereftalato de polietileno (PET) e cobertos com um filme de polipropileno (PP). Após a compra foram imediatamente transportados para o Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os morangos foram mantidos sob refrigeração a 8 °C até o seu uso. A superfície de trabalho e as ferramentas de corte foram higienizadas com solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 15 minutos antes do uso. Em seguida, as folhas dos morangos foram retiradas e os morangos foram cortados ao meio no sentido de sua haste até a ponta conforme mostra a Figura 6

Figura 6 - Cortes das amostras de morangos



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2 PLASMA FRIO DE BARREIRA DIELÉTRICA E ARMAZENAMENTO

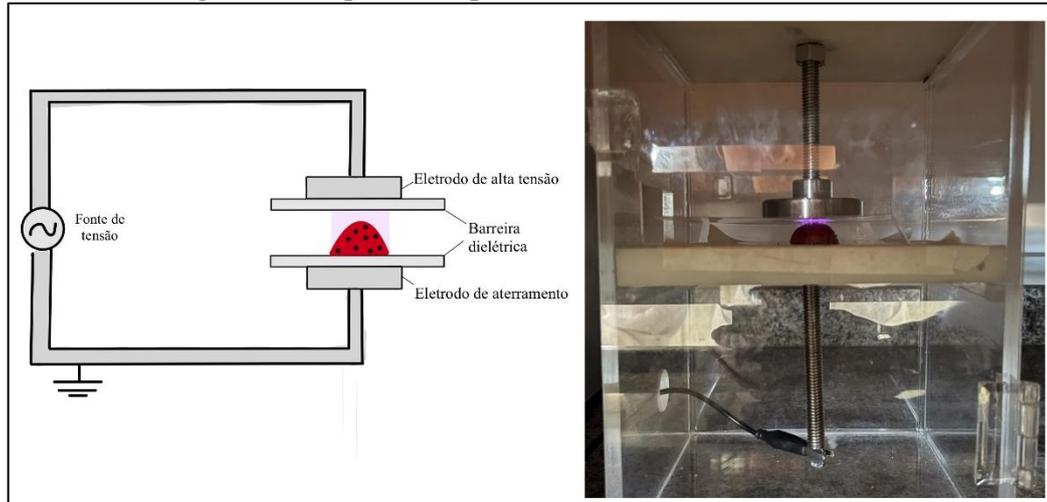
O plasma frio utilizado foi a partir de um reator de Descarga em Barreira Dielétrica (DBD). A camada dielétrica utilizada para os testes foi de poliéster - película PET (de 0,014 mm de espessura). Para gerar a descarga elétrica, foi utilizada uma fonte de alta tensão pulsada, onde os pulsos alcançaram a energia de 97 mJ. Um único valor da tensão aplicada através dos eletrodos de 30 kV_{RMS} a 130 Hz foi usado para esses experimentos. A distância entre os eletrodos foi de 1,2 cm e os pedaços de morango tinham aproximadamente 1,1 cm de altura.

Os morangos foram divididos aleatoriamente em quatro grupos: um grupo controle e três grupos de tratamento com plasma frio. Para cada grupo de tratamento utilizou-se 3 peças de morangos. No grupo controle não foi aplicado o plasma, e nos outros três grupos de tratamento

foram aplicados o plasma na tensão descrita anteriormente com tempo de permanência de: 2,5 minutos, 5 minutos e 7,5 minutos em cada lado da amostra de morango.

Os grupos de frutos tratados e o grupo controle foram acondicionadas em bandejas de isopor, seladas com filme de PVC flexível, e armazenadas por 7 dias a 8 °C. Análises dos frutos foram realizadas antes, após o tratamento e durante o armazenamento de 7 dias.

Figura 7 - Esquema do plasma frio de barreira dielétrica



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.3 CARACTERIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS MORANGOS

Os morangos do grupo controle e dos grupos tratados (2,5 minutos, 5 minutos e 7,5 minutos), foram avaliados quanto a perda de peso, cor, textura, pH e sólidos solúveis totais (SST). As análises foram realizadas antes e depois do tratamento com plasma (dia 0) e durante o armazenamento, nos dias 3, 5, e 7, em triplicata de experimentos.

4.3.1 Perda de peso durante o armazenamento

A perda de peso durante o armazenamento foi medida usando uma balança semi analítica com precisão de 0,01 g (Marte, AY220, Brasil). Foram pesados 12,00 g ($\pm 4,00$ g) de morangos por tratamento no dia inicial (dia 0) e ao longo do armazenamento. As análises foram não destrutivas, ou seja, os mesmos lotes foram pesados no período de armazenamento (dias 0, 3, 5, 7). A perda de peso foi calculada de acordo com a equação 1 (Ktenioudaki, et al., 2021):

$$PP (\%) = \frac{(P_0 - P_n) \times 100}{P_0} \quad (1)$$

Onde: PP é a perda de peso (%); P₀ a massa no tempo inicial do armazenamento; e P_n a massa para os dias posteriores de análise.

4.3.2 Análise da cor dos morangos

As cores das amostras foram determinadas usando uma câmera digital de alta resolução (AF-S DX NIKKOR 18–55 mm f/3.5–5.6 G VR, Nikon®), configurada no modo cena, com zoom de 35% e sem flash. As fotos foram tiradas após o posicionamento da amostra dentro de uma câmara com iluminação homogênea de uma fonte de lâmpada fluorescente difusa e usando uma placa branca padrão como fundo. As fotos foram analisadas com o auxílio do software ImageJ v 1.52a® em conjunto com o plugin Color Space Converter. As determinações da cor foram baseadas em coordenadas CIELab, resultando em medidas de cor expressas em termos de luminosidade L* (L* = 0 preto e L* = 100 branco) e da cromaticidade, definida por a* (+a* = vermelho e -a* = verde) e b* (+b* = amarelo e -b* = azul). Os parâmetros saturação de cor (croma, C*), diferença total de cor (ΔE*) e o ângulo da matiz (h*; °) foram calculados conforme as equações (2), (3) e (4) respectivamente.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

Onde: ΔL* = L*_{amostra} - L*_{padrão}; Δa* = a*_{amostra} - a*_{padrão}; Δb* = b*_{amostra} - b*_{padrão};

4.3.3 Análise do perfil de textura

A análise de textura de morangos foi realizada usando um analisador de textura TA.HD Plus (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido) e uma sonda de punção de 2 mm de diâmetro. A velocidade da sonda durante o teste foi de 1 mm/s e a profundidade de penetração foi fixada em 10,00 mm. Todas as medições foram realizadas em condições de temperatura ambiente (aproximadamente 20,0 °C ± 0,5). Seis morangos foram testados e foram realizadas três

medições para cada morango. O software Texture Expert Exceed foi utilizado para análise dos dados e determinação da firmeza dos frutos.

4.3.4 pH

Para a medição do pH, foi utilizado um pHmetro portátil (Testo, modelo 205, AG Germany). Os pedaços de morango foram perfurados para obter-se as medidas de pH.

4.3.5 Sólidos solúveis totais

Para a avaliação dos SST os morangos foram esmagados e filtrados através de papel de filtro Whatman nº 1 e o suco obtido foi colocado no prisma de vidro do refratômetro para medir como °Brix usando um refratômetro digital (ATAGO, PAL-BY/RI, Japão), calibrado com água destilada, de acordo com a metodologia de AOAC (1995). Os resultados foram expressos em %.

4.4 AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE FUNGOS

A presença ou não de fungos foi avaliada pela percepção visual de 5 pedaços de morango por grupos de tratamento e controle durante o armazenamento. Foi considerado o fim da vida útil quando os morangos apresentavam danos visuais acima de 20%.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

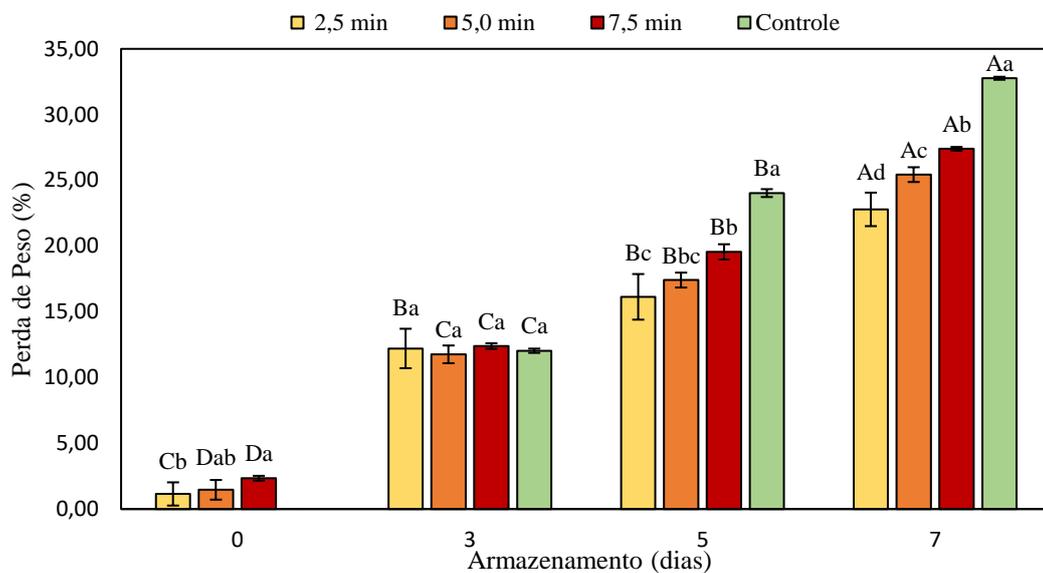
Os experimentos foram realizados com réplicas independentes em triplicata de experimentos. Os dados são apresentados como média \pm desvio padrão. As diferenças entre as amostras foram avaliadas pela análise de variância unidirecional (ANOVA) para identificar as diferenças significativas usando o teste de Tukey a um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no Software Statistica 13.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DA PERDA DE PESO

A Figura 8 apresenta os resultados da perda de peso dos morangos com e sem aplicação do plasma, durante o armazenamento dos grupos.

Figura 8 - Perda de peso dos morangos durante o armazenamento



*Os resultados representam a média (n = 3), as barras verticais o erro-padrão da média.

**As diferenças no nível de $\alpha = 0,05$ entre os dias 0, 3, 5 e 7 e entre os grupos controle e tratados para o mesmo dia são representadas pelas diferentes letras maiúsculas e minúsculas, respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No dia 0, foi observado que os grupos de morangos tratados com plasma apresentaram diferenças na perda de peso de acordo com o tempo de aplicação do plasma. Os grupos com menor tempo de aplicação tiveram menos perda de peso em comparação aos outros. Até o terceiro dia de armazenamento, não houve diferença significativa entre os grupos tratados e controle. Porém, a partir do terceiro dia, foi observado que os frutos tratados por 2,5 minutos tiveram menor perda de peso do que os tratados por 5 e 7,5 minutos, enquanto os frutos controle tiveram a maior perda de peso. Esses resultados mostram que o tempo de tratamento com plasma influencia na perda de peso dos morangos: quanto maior o tempo de exposição, maior a perda de peso. Esse resultado também foi encontrado no estudo de Giannoglou et al., (2021) com morangos e no estudo de Burana (2021) com figos. Isso pode ter ocorrido porque a exposição ao plasma abriu os poros da parede celular dos frutos, provocando a perda de água,

ou porque o tempo longo de exposição acelerou o metabolismo dos frutos, aumentando a taxa de respiração e, conseqüentemente, a perda de água. Por outro lado, os frutos tratados com plasma ainda assim apresentaram menor perda de peso do que os morangos do grupo controle.

5.2 ANÁLISE DO pH

A Tabela 7 apresenta os resultados do pH dos grupos de morangos durante o armazenamento.

Tabela 7 - pH dos morangos durante o armazenamento

Grupo	dia 0	dia 3	dia 5	dia 7
Controle	3,50±0,09 ^{Ab}	3,49±0,13 ^{Aa}	3,44±0,07 ^{Ac}	3,40±0,13 ^{Aa}
2,5	3,83±0,16 ^{Aa}	3,60±0,13 ^{ABa}	3,53±0,10 ^{Bbc}	3,31±0,06 ^{Ba}
5	3,63±0,13 ^{Aab}	3,68±0,12 ^{Aa}	3,64±0,07 ^{Aab}	3,36±0,02 ^{Ba}
7,5	3,77±0,17 ^{Aab}	3,73±0,15 ^{Aa}	3,80±0,06 ^{Aa}	3,52±0,13 ^{Aa}

Letras em MAIÚSCULA referente aos dias

Letras em minúscula referente aos tratamentos

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Durante o armazenamento dos morangos tratados com plasma, foi observado que o pH se manteve constante nos grupos controle e tratado de 7,5 minutos, semelhante aos dados reportados por Ziuzina et al., (2020), no entanto houve variações significativas nos grupos tratados por 5 e 2,5 minutos.

O grupo tratado com plasma por 2,5 minutos apresentou um aumento imediato do pH após a aplicação do plasma, seguido por um decréscimo ao longo do armazenamento. Por outro lado, o grupo tratado por 5 minutos apresentou uma diminuição significativa no valor de pH apenas no sétimo dia de armazenamento. Em relação as variações entre os grupos tratados e o grupo controle, observou-se que houve diferenças significativas nos valores de pH, entre o grupo controle e tratado apenas nos dias 0 e 5.

Essas variações de pH são explicadas por estudos anteriores que demonstraram que o tratamento com plasma pode alterar o pH dos alimentos, especialmente em produtos líquidos (ALMEIDA et al, 2015; LEE et al, 2016). As mudanças de pH e acidez após o tratamento com plasma são atribuídas principalmente à interação dos gases reativos do plasma com a umidade presente dos alimentos estudados, como já mencionado anteriormente. No entanto, muitas

pesquisas também relataram nenhum efeito no pH dos alimentos com capacidade tampão pelo tratamento com plasma frio (XU et al 2017; PANJA et al 2017).

Esses resultados indicam que os efeitos do plasma sobre o pH de matrizes alimentares complexas são afetados por vários fatores, como capacidade de tamponamento, atividade fisiológica dos tecidos vivos e a possibilidade de o líquido emanar dos tecidos danificados na superfície lavando os ácidos. na superfície (MISRA, 2016). Ainda, segundo PAN et al., (2019), as mudanças no pH, na condutividade e no potencial redox dos alimentos depende muito da variação na produção de espécies reativas entre as tecnologias de plasma frio.

5.3 ANÁLISE DOS SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS

Na Tabela 8 estão apresentados os valores dos teores de sólidos solúveis totais dos morangos tratadas e não tratados com plasma frio durante o armazenamento.

Tabela 8 - Teor de SST (%) dos morangos durante o armazenamento

Grupo	dia 0	dia 3	dia 5	dia 7
Controle	7,68±0,95 ^{ABa}	8,93±0,67 ^{Aa}	7,05±0,52 ^{Ba}	8,43±0,62 ^{Aa}
2,5	6,85±1,21 ^{Aa}	7,80±0,45 ^{Aa}	6,53±0,75 ^{Aa}	6,88±1,63 ^{Aa}
5	6,10±1,25 ^{Aa}	7,53±1,09 ^{Aa}	7,37±1,83 ^{Aa}	7,47±1,52 ^{Aa}
7,5	7,18±0,90 ^{Aa}	7,25±1,75 ^{Aa}	7,80±0,35 ^{Aa}	9,10±1,54 ^{Aa}

Letras em MAIÚSCULA referente aos dias

Letras em minúscula referente aos tratamentos

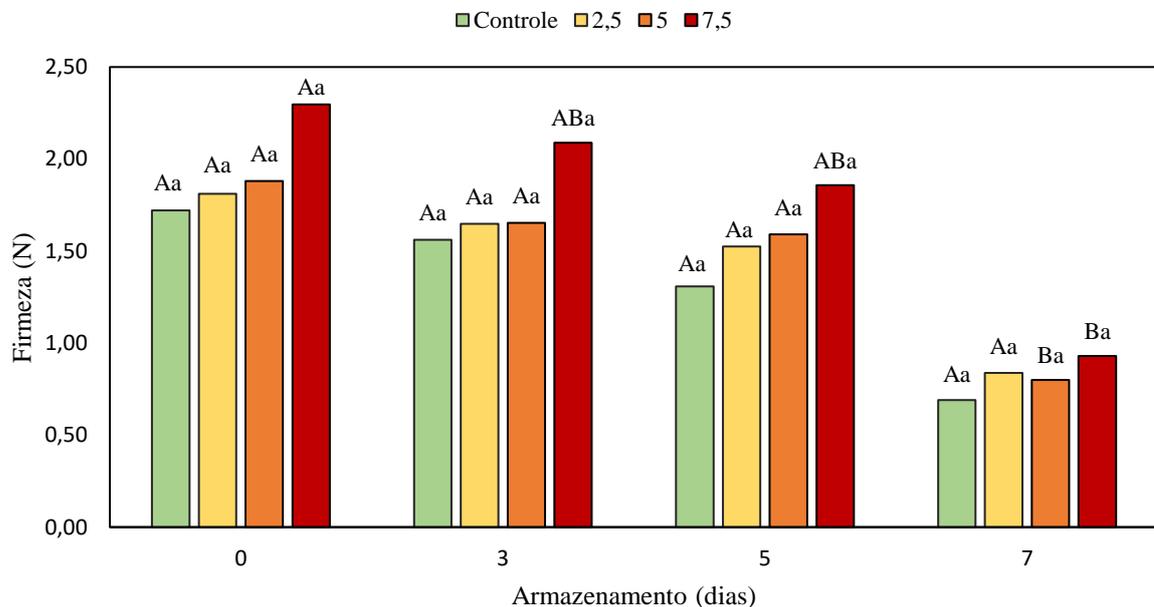
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os resultados da análise dos teores de sólidos solúveis totais (SST) indicam que não houve diferença significativa nos valores de SST entre os grupos tratados com plasma e o grupo controle durante todo o período de armazenamento. Os valores de SST nos grupos tratados se mantiveram constantes, o que é consistente com os achados do estudo de Ziuzina et al., (2020). No entanto, foram observadas variações significativas ($p < 0,05$) nos teores de SST no grupo controle ao longo do armazenamento, que oscilaram entre 7,05 e 8,93, o que pode ser atribuído às diferenças de maturação dos frutos. É importante mencionar que as análises de SST são destrutivas e, portanto, podem afetar a consistência dos resultados (DE RESENDE et al., 2010).

5.4 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA

A textura é um aspecto importante para a aceitação do consumidor, o morango por ser uma fruta macia, com elevado teor de água e desprotegida de pele ou casca, perde rapidamente sua firmeza durante o armazenamento, e isso o deixa susceptível a degradação por fungos (HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2008). A Figura 9 apresenta os resultados das análises de firmeza obtidos durante o armazenamento de morangos tratados com plasma frio e do grupo controle.

Figura 9 - Firmeza dos morangos durante o armazenamento



*As diferenças no nível de $\alpha = 0,05$ entre os dias 0, 3, 5 e 7 e entre os grupos controle e tratados para o mesmo dia são representadas pelas diferentes letras maiúsculas e minúsculas, respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os resultados das análises de firmeza durante o armazenamento de morangos tratados com plasma frio e controle foram avaliados, e as variações de firmeza entre os grupos tratados e o grupo controle não foram significativas. Não houve diferença significativa na firmeza dos morangos controle e os morangos tratados por 2,5 minutos durante os dias de armazenamento. No entanto, para o grupo tratado por 7,5 minutos, houve uma diminuição gradual da firmeza ao longo do armazenamento. Já para o grupo tratado por 5 minutos houve apenas diferença significativa no dia 7, com uma redução da firmeza. Esses resultados são consistentes com os

encontrados nos estudos de ZIUZINA et al., (2020) e MISRA et al., (2014), em que não houve diferença significativa na firmeza entre os morangos controle e os tratados.

A firmeza dos morangos é influenciada por uma variedade de fatores, incluindo genética, ambiente de cultivo, colheita, manuseio pós-colheita e armazenamento. À medida que os morangos amadurecem, eles naturalmente perdem firmeza e tornam-se mais macios. Este processo ocorre devido à quebra de componentes celulares estruturais, como a parede celular, que é responsável pela firmeza e rigidez da fruta (PALIYATH et al., 2008). Dito isto, pode-se inferir que a diminuição da firmeza dos grupos tratados por 5 e 7,5 minutos ao longo do armazenamento é algo natural e não necessariamente efeito da aplicação do PF.

5.5 ANÁLISE DA COR

A análise da variação de cor durante o armazenamento foi feita a partir dos dados das Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9 –Alteração dos parâmetros de cor L*, a* e b*.

Tempo de armazenamento (dias)	Grupo	L*	a*	b*
Antes	Controle	45,49±1,58 ^{Aa}	49,01±1,85 ^{ABab}	30,01±2,21 ^{Aab}
	2,5 min	46,90±1,54 ^{Aa}	51,54±0,40 ^{Aa}	23,84±4,51 ^{Ab}
	5,0 min	45,69±2,58 ^{Aa}	51,43±1,20 ^{Aa}	22,09±4,41 ^{Ab}
	7,5 min	51,95±3,34 ^{ABa}	46,34±1,45 ^{ABb}	35,17±4,22 ^{Aa}
0	Controle	45,49±1,58 ^{Aa}	49,01±1,85 ^{ABab}	30,01±2,21 ^{Aab}
	2,5 min	44,32±1,47 ^{ABa}	50,53±0,65 ^{ABa}	23,25±3,57 ^{Ab}
	5,0 min	46,15±2,98 ^{Ab}	51,53±1,38 ^{Aa}	21,57±4,98 ^{Ab}
	7,5 min	52,67±2,65 ^{Ab}	46,46±1,04 ^{ABb}	33,77±3,03 ^{Aa}
3	Controle	45,11±1,69 ^{Ab}	52,32±0,88 ^{Aa}	31,60±3,96 ^{Aa}
	2,5 min	42,88±2,09 ^{ABb}	50,05±1,92 ^{ABa}	20,90±4,93 ^{Ab}
	5,0 min	42,72±3,84 ^{Ab}	50,47±1,61 ^{Aa}	19,31±3,44 ^{ABb}
	7,5 min	50,65±3,71 ^{ABa}	49,53±2,50 ^{Aa}	31,47±2,14 ^{ABa}
5	Controle	44,15±2,00 ^{Ab}	49,53±2,04 ^{ABa}	27,08±3,63 ^{Ab}
	2,5 min	41,76±1,61 ^{Bb}	43,77±1,83 ^{Bc}	15,82±4,97 ^{Ab}
	5,0 min	42,55±3,98 ^{Ab}	46,78±1,07 ^{Ab}	15,67±2,10 ^{ABb}
	7,5 min	50,69±3,64 ^{ABa}	48,40±1,77 ^{Aa}	28,09±2,76 ^{ABa}
7	Controle	43,02±2,21 ^{Aa}	46,04±3,40 ^{Ba}	25,03±5,19 ^{Ab}
	2,5 min	43,14±1,48 ^{ABa}	30,28±4,77 ^{Cb}	11,17±8,69 ^{Ab}
	5,0 min	39,79±3,30 ^{Aa}	35,85±4,33 ^{Bab}	12,35±1,22 ^{Bab}
	7,5 min	44,51±3,23 ^{Ba}	43,22±1,50 ^{Ba}	26,48±2,75 ^{Ba}

Letras em MAIÚSCULA referente aos dias

Letras em minúscula referente aos tratamentos

*Os dados foram expressos como média ± desvio padrão de três repetições

** As diferenças no nível de $\alpha = 0,05$ entre os dias 0, 3, 5 e 7 e entre os grupos controle e tratado para o mesmo dia são representadas pelas diferentes letras maiúsculas e minúsculas, respectivamente

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Tabela 10 - Alteração dos parâmetros de cor ΔE^* , C^* e $h [^\circ]$

Tempo de armazenamento (dias)	Grupo	ΔE^*	C^*	$h [^\circ]$
Antes	Controle	-	57,52±0,79 ^{ABa}	31,49±2,77 ^{Aab}
	2,5 min	-	56,87±2,24 ^{Aa}	24,72±3,98 ^{Ab}
	5,0 min	-	56,05±2,86 ^{Aa}	23,12±3,62 ^{Ab}
	7,5 min	-	58,28±1,54 ^{Aa}	37,13±4,14 ^{Aa}
0	Controle	-	57,52±0,79 ^{ABa}	31,49±2,77 ^{Aab}
	2,5 min	3,72±1,38 ^{Aa}	55,67±2,04 ^{Aa}	24,63±3,11 ^{Ab}
	5,0 min	0,89±0,30 ^{Cb}	55,96±3,22 ^{Aa}	22,56±4,12 ^{Ab}
	7,5 min	2,30±0,53 ^{Bab}	57,70±0,94 ^{Aa}	35,98±3,06 ^{ABa}
3	Controle	6,16±1,66 ^{Aa}	61,10±2,22 ^{Aa}	31,06±3,21 ^{Aab}
	2,5 min	8,52±2,63 ^{Aa}	54,33±3,60 ^{Aa}	22,48±4,14 ^{Abc}
	5,0 min	4,64±0,64 ^{BCa}	54,08±2,69 ^{ABa}	20,84±2,87 ^{Ac}
	7,5 min	7,97±4,62 ^{ABa}	58,72±2,12 ^{Aa}	32,45±2,45 ^{ABa}
5	Controle	6,25±2,44 ^{Aa}	56,52±2,46 ^{ABa}	28,62±3,45 ^{Aa}
	2,5 min	12,33±1,33 ^{Aa}	46,67±3,14 ^{Ab}	19,65±5,29 ^{Aa}
	5,0 min	10,14±6,06 ^{Ba}	49,36±1,22 ^{Bb}	18,50±2,36 ^{Aa}
	7,5 min	7,68±1,98 ^{ABa}	56,01±1,53 ^{Aa}	30,13±2,97 ^{Ba}
7	Controle	7,25±6,12 ^{Ab}	52,50±4,72 ^{Ba}	28,36±4,51 ^{Aa}
	2,5 min	25,92±8,72 ^{Ba}	32,78±7,00 ^{Bc}	18,31±13,30 ^{Aa}
	5,0 min	19,96±4,23 ^{Aab}	37,94±4,29 ^{Cbc}	19,09±2,01 ^{Aa}
	7,5 min	11,93±1,09 ^{Aab}	50,74±1,56 ^{Bab}	31,47±3,08 ^{ABa}

Letras em MAIÚSCULA referente aos dias

Letras em minúscula referente aos tratamentos

*Os dados foram expressos como média ± desvio padrão de três repetições

** ΔE^* diferença entre os grupos do mesmo dia.

*** As diferenças no nível de $\alpha = 0,05$ entre os dias 0, 3, 5 e 7 e entre os grupos controle e tratado para o mesmo dia são representadas pelas diferentes letras maiúsculas e minúsculas, respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Durante o armazenamento, o grupo controle não apresentou diferenças significativas na luminosidade, no parâmetro b^* e no ângulo de tonalidade h . No entanto, o parâmetro a^* , relacionado à cor vermelha, e a saturação C^* aumentaram no terceiro dia e diminuíram nos dias 5 e 7. Segundo Machado et al. (2019), um teor expressivo de compostos fenólicos, como licopeno, carotenoides e antocianinas, é caracterizado por um maior valor do parâmetro a^* em relação ao parâmetro b^* . Apesar do presente estudo não avaliar os compostos fenólicos, no

estudo de Li et al. (2019), verificaram que morangos recém cortados tinham um aumento de compostos fenólicos até o terceiro dia de armazenamento e na sequência um decaimento. Logo, o aumento de compostos fenólicos após o corte do morango até o dia 3 pode explicar o aumento dos parâmetros a^* e C^* , com redução dos mesmos nos dias seguintes de armazenamento.

Ao analisar o parâmetro L^* em frutas tratadas com plasma frio, foi observada uma diminuição dos valores no grupo de 2,5 minutos após a aplicação do plasma. Para o grupo de 5,0 minutos, não houve variação significativa ao longo do tempo e, no grupo de 7,5 minutos, houve uma variação com aumento seguido de diminuição durante o armazenamento. No grupo tratado por 5,0 minutos, houve diminuição significativa da coloração vermelha (parâmetro a^*) somente no 7º dia de armazenamento, e no grupo de 7,5 minutos, não houve alteração imediatamente após a aplicação do plasma frio, mas sim um aumento significativo no 3º dia, seguido de uma redução no 7º dia. O parâmetro b^* , relacionado à cor amarela, não apresentou variação significativa durante o armazenamento no grupo de 2,5 minutos, mas houve uma diminuição significativa nos grupos de 5,0 e 7,5 minutos.

Ao avaliar o parâmetro ΔE^* , que é a diferença total de cor, constatou-se que o grupo tratado por 2,5 minutos apresentou a maior diferença de cor após a aplicação do plasma frio, enquanto o grupo tratado por 5,0 minutos apresentou a menor diferença. Todos os grupos tratados com plasma apresentaram aumento significativo do ΔE^* no 7º dia, enquanto o grupo controle não apresentou diferença significativa durante todo o período avaliado. Já em relação ao parâmetro C^* , que se refere à saturação de cor, o grupo tratado por 2,5 minutos e 7,5 minutos apresentou diminuição significativa apenas no 7º dia, enquanto no grupo tratado por 5,0 minutos a diminuição foi gradual durante os dias de armazenamento avaliados. Quanto ao parâmetro h , que se refere ao ângulo de tonalidade, não houve variação significativa no grupo tratado por 2,5 minutos e 5,0 minutos durante o armazenamento, enquanto no grupo tratado por 7,5 minutos houve diminuição significativa no 5º dia.

Levando em consideração que o fruto do morango tem uma coloração vermelha e que, a análise da cor pelos olhos do consumidor é o que faz ele escolher entre uma caixa de morangos ou outra (GÖSSINGER et al., 2009), pode-se dizer que entres os grupos tratados o grupo de 5,0 minutos foi o que melhor preservou essa coloração e luminosidade durante todos os dias do armazenamento.

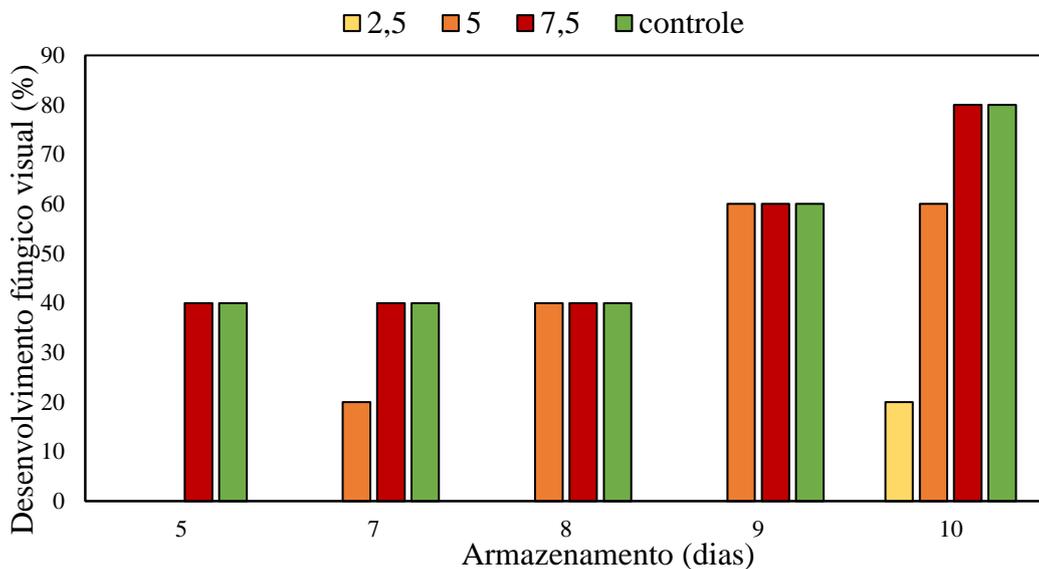
Ao comparar o grupo de morangos tratado por 5 minutos, que apresentou a melhor conservação de cor, com o grupo controle, percebe-se que a diferença significativa entre eles é mínima. Isso indica que, nas condições específicas do estudo, o plasma tem um impacto mínimo

na cor dos frutos do morango. Entretanto, quando um processo é aplicado em diferentes condições, a condição ótima deve levar em considerações outros parâmetros.

5.6 ANÁLISE VISUAL DO DESENVOLVIMENTO FÚNGICO

A Figura 10, apresenta o percentual de desenvolvimento fúngico natural dos morangos após o tratamento com plasma frio nos grupos durante um armazenamento de 10 dias.

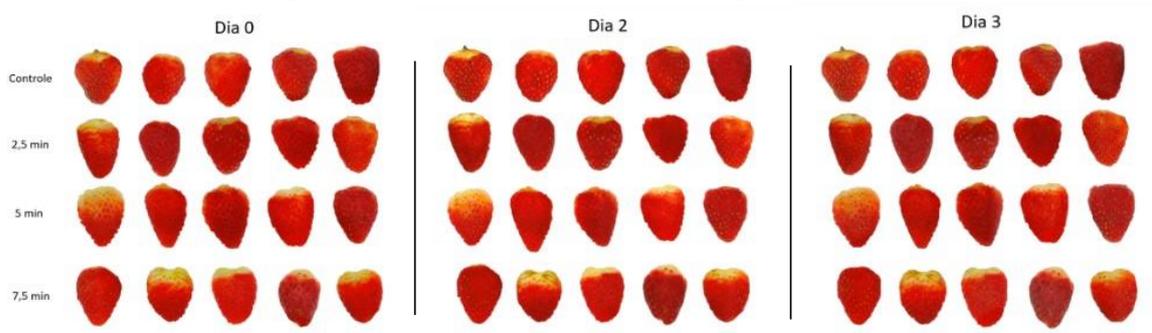
Figura 10 - Desenvolvimento visual natural dos fungos nos grupos de morangos



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Durante os primeiros três dias, como mostra a Figura 11 nenhum dos grupos mostrou sinais de deterioração, o que significa que todos os morangos não apresentaram visualmente desenvolvimento fúngico.

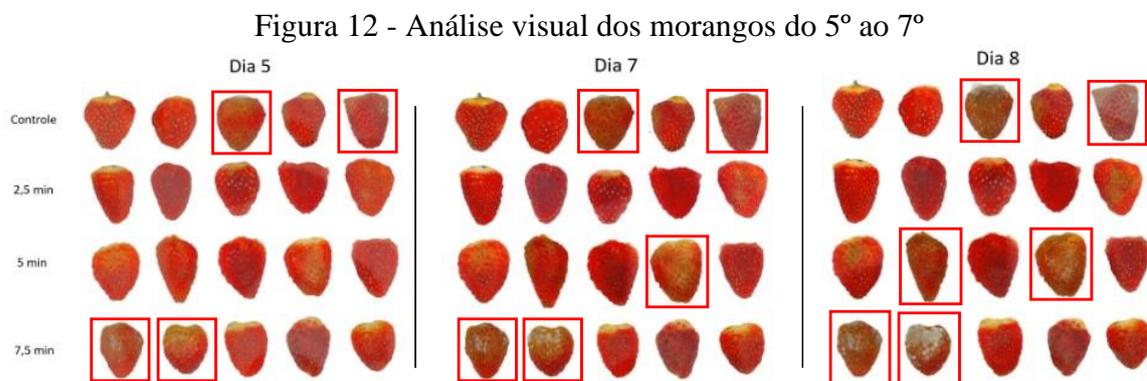
Figura 11 - Análise visual dos morangos até o 3º dia



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A partir da Figura 12 observa-se que no quinto dia, os grupos de controle e tratados por 7,5 minutos começaram a apresentar fungos em suas superfícies, resultando em uma deterioração de 40% nos morangos. Enquanto isso, os morangos dos grupos tratados por 2,5 e 5 minutos permaneceram livres de fungos.

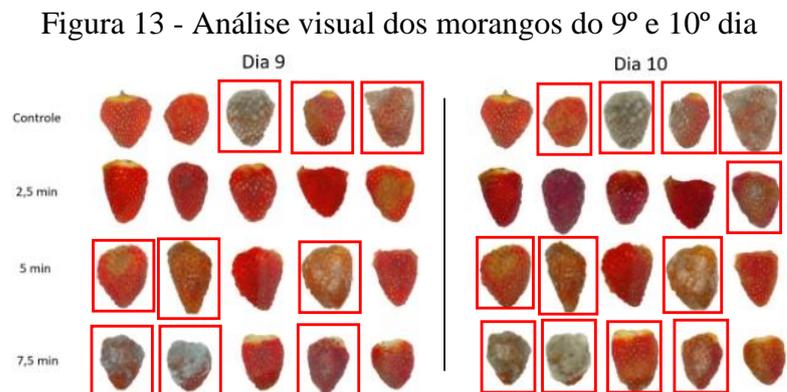
No sétimo dia, o grupo tratado por 5 minutos mostrou uma deterioração fúngica de 20%, enquanto os morangos dos grupos de controle e tratados por 7,5 minutos mantiveram a deterioração em 40%. Os morangos do grupo tratado por 2,5 minutos ainda não apresentavam sinais de deterioração.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Nos dias 8 e 9 a deterioração foi de respectivamente 40% e 60%, nos grupos controle, 5 minutos e 7,5 minutos. Enquanto isso, os morangos tratados por 2,5 minutos permaneceram sem deterioração como pode-se ver pela Figura 13.

No décimo dia, finalmente, o grupo tratado por 2,5 minutos mostrou a presença de fungos com uma deterioração de 20%. O grupo tratado por 5 minutos manteve a deterioração de 60% e o grupo de controle e de 7,5 minutos apresentaram uma deterioração de 80%.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O objetivo do estudo era determinar os efeitos do plasma frio atmosférico no desenvolvimento fúngico em morangos, visando a inativação dos fungos e o aumento do tempo de armazenamento antes da decomposição.

O resultado esperado era que quanto maior o tempo de aplicação, mais tempo de armazenamento até a decomposição. No entanto, a parede celular dos morangos é uma estrutura complexa composta por carboidratos, proteínas e lipídios, e os efeitos do plasma frio podem variar de acordo com o tempo de exposição, intensidade do plasma e características específicas dos morangos.

Ao analisar os resultados, observou-se que nos grupos tratados por 5 e 7,5 minutos, na região mais próxima ao eletrodo, ocorreu uma espécie de "queimadura" na superfície dos morangos, resultando em perda de coloração ou coloração mais escura, além de um aspecto ressecado. Isso indica que a aplicação direta de plasma frio atmosférico por esses tempos pode ter sido excessiva para a sensibilidade dos morangos.

Figura 14 - Efeito da exposição prolongada da superfície dos morangos ao plasma frio



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Todavia, mesmo assim os morangos tratados por 7,5 minutos tiveram o mesmo tempo de decomposição que os morangos não tratados (controle). Já os morangos tratados por 5 minutos resistiram por mais 2 dias, e os tratados por 2,5 minutos resistiram por 5 dias a mais do que os morangos controle. Isso indica que um tempo de tratamento de 2,5 minutos foi o mais eficaz para preservar os morangos da decomposição fúngica. Após 10 dias da aplicação, apenas 20% dos morangos tratados por 2,5 minutos apresentavam decomposição, em comparação com os morangos controle, que já tinham uma decomposição de 80%, quatro vezes maior do que o considerado para descarte dos morangos.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que a aplicação do plasma frio atmosférico de barreira dielétrica (DBD) nos morangos apresentou efeitos positivos na preservação de suas propriedades físico-químicas. Observou-se que os morangos tratados com plasma frio DBD tiveram uma redução na perda de peso em comparação aos morangos não tratados. Em relação à cor, observou-se que entre os morangos tratados, o grupo tratado por 5 minutos foi o que apresentou melhor preservação da coloração vermelha e da luminosidade ao longo do tempo de armazenamento. Quanto à textura, não foram observadas alterações significativas causadas pela aplicação do plasma frio, comparando-se os morangos tratados e não tratados. A avaliação do pH mostrou um aumento após a aplicação do plasma frio nos morangos tratados. Além disso, os morangos tratados por 7,5 minutos apresentaram pH estável durante o armazenamento, seguindo o padrão dos morangos não tratados. Quanto aos sólidos solúveis totais (SST), não houve diferença entre os morangos tratados e não tratados, e nos grupos tratados, os SST se mantiveram constantes ao longo do armazenamento. No que diz respeito ao efeito do plasma frio DBD sobre o desenvolvimento de fungos, foi observado que o tratamento com menor tempo resultou nos melhores resultados, prolongando o tempo até a degradação por fungos dos morangos em cinco dias a mais em comparação aos morangos não tratados. Portanto, os resultados indicam que o tratamento com plasma frio DBD em morangos mostra-se promissor para preservar as características físico-químicas desses frutos. No entanto, são necessários estudos adicionais para avaliar o efeito do plasma frio sobre os componentes bioativos dos morangos e como ele interfere no metabolismo da fruta. Além disso, é importante investigar o efeito do plasma frio sobre a parede celular vegetal do fruto, assim como outros aspectos relevantes para a segurança alimentar e qualidade dos produtos. Essas investigações futuras contribuirão para uma utilização mais ampla e eficiente do plasma frio na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

- ALI, M.; CHENG, J. H.; SUN, D. W. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatments on degradation of anilazine fungicide and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) juice. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 1, p. 69–75, 1 jan. 2021.
- ALMEIDA, F. D. L. et al. Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 32, p. 127–135, 1 dez. 2015a.
- ALMEIDA, M. L. B. et al. Postharvest shelf-life and fruit quality of strawberry grown in different cropping systems. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 43, p. 4053–4061, 22 out. 2015b.
- ALTEMIMI, A. et al. Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. **Plants** 2017, Vol. 6, Page 42, v. 6, n. 4, p. 42, 22 set. 2017.
- AMINI, M.; GHORANNEVISS, M. Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage. **LWT**, v. 73, p. 178–184, 1 nov. 2016.
- ÁVILA, J. M. M. DE et al. Influência do sistema de produção e do armazenamento refrigerado nas características físico-químicas e no desenvolvimento de compostos voláteis em morangos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2265–2271, 2012.
- AVIS, T. J.; MARTINEZ, C.; TWEDDELL, R. J. Effect of chlorine atmospheres on the development of rhizopus rot [*Rhizopus stolonifer*] and gray mold [*Botrytis cinerea*] on stored strawberry fruits. <https://doi.org/10.1080/07060660609507330>, v. 28, n. 4, p. 526–532, 2010.
- BARNES, S. E.; SHAW, M. W. Infection of Commercial Hybrid Primula Seed by *Botrytis cinerea* and Latent Disease Spread Through the Plants. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.5.573>, v. 93, n. 5, p. 573–578, 22 fev. 2007.
- BAUER, V.; WALLY, A. P.; PETER, M. Tecnologia de frutas e hortaliças. p. 126, 2014.

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. et al. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. **Food Control**, v. 34, n. 1, p. 149–157, 1 nov. 2013.

BINTSIS, T.; LITOPOULOU-TZANETAKI, E.; ROBINSON, R. K. Review Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry-a critical review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 6, p. 637–645, 2000.

BLANCO-ULATE, B. et al. Ripening of tomato fruit and susceptibility to *Botrytis cinerea*. **Botrytis - The Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems**, p. 387–412, 1 jan. 2015.

BORTOLOZZO, A. R. et al. Produção de morangos no sistema semihidropônico. **infoteca.cnptia.embrapa.br**, 2007.

BOURKE, P. et al. Microbiological interactions with cold plasma. **Journal of Applied Microbiology**, v. 123, n. 2, p. 308–324, 1 ago. 2017.

BRISTOW, P. R.; MCNICOL, R. J.; WILLIAMSON, B. Infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* and its relevance to grey mould development. **Annals of Applied Biology**, v. 109, n. 3, p. 545–554, 1 dez. 1986.

BURANA, C. Effect of Plasma Treatments and Low Temperature to Some Physical and Some Physiology of Fresh Fig Fruit (*Ficus carica* L.) cv. Black Jack. **International Scientific Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 1, p. 6–10, 2021.

CAMPANIELLO, D. et al. Chitosan: Antimicrobial activity and potential applications for preserving minimally processed strawberries. **Food Microbiology**, v. 25, n. 8, p. 992–1000, 1 dez. 2008.

CHAKRABORTY, N. et al. Reduction of Oxalate Levels in Tomato Fruit and Consequent Metabolic Remodeling Following Overexpression of a Fungal Oxalate Decarboxylase. **Plant Physiology**, v. 162, n. 1, p. 364–378, 2 maio 2013.

CHAROUX, C. M. G. et al. Effect of non-thermal plasma technology on microbial inactivation and total phenolic content of a model liquid food system and black pepper grains. **LWT**, v. 118, p. 108716, 1 jan. 2020.

CHEIGH, C. I. et al. Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7. **Food Control**, v. 25, n. 2, p. 654–659, 1 jun. 2012.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813–835, 1 jul. 2011.

CHEN, C. et al. The Effects of Cold Plasma-Activated Water Treatment on the Microbial Growth and Antioxidant Properties of Fresh-Cut Pears. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 11, p. 1842–1851, 1 nov. 2019a.

CHEN, G. et al. Improving functional properties of zein film via compositing with chitosan and cold plasma treatment. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 318–326, 1 mar. 2019b.

CHU, Y. et al. Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. **LWT**, v. 122, p. 109054, 1 mar. 2020.

CHUTIA, H. et al. Fuzzy logic approach for optimization of blended beverage of cold plasma treated TCW and orange juice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 4, p. 1926–1938, 1 ago. 2020.

COUTINHO, N. M. et al. Cold plasma processing of milk and dairy products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 74, p. 56–68, 1 abr. 2018.

COUTINHO, N. M. et al. Processing chocolate milk drink by low-pressure cold plasma technology. **Food Chemistry**, v. 278, p. 276–283, 25 abr. 2019.

CULLEN, P.; TIWARI, B.; VALDRAMIDIS, V. **Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods.** [s.l: s.n.].

DA SILVA PINTO, M.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Food Chemistry**, v. 107, n. 4, p. 1629–1635, 15 abr. 2008.

DAKSHAYANI, R.; PAUL, A.; MAHENDRAN, R. Cold Plasma-Induced Effects on Bioactive Constituents and Antioxidant Potential of Lotus Petal Powder. **IEEE Transactions on Plasma Science**, v. 49, n. 2, p. 507–512, 1 fev. 2021.

DARA, S. K. et al. Improving Strawberry Irrigation with Micro-Sprinklers and Their Impact on Pest Management. **Agricultural Sciences**, v. 7, n. 12, p. 859–868, 28 nov. 2016.

DAUGAARD, H. Cultural Methods for Controlling *Botrytis cinerea* Pers. in Strawberry. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 16, n. 4, p. 351–361, 1999.

DE CASTRO, D. R. G. et al. Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. **Food Research International**, v. 131, p. 109044, 1 maio 2020.

DE RESENDE, J. T. V. et al. Produtividade e teor de sólidos solúveis de frutos de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 185–189, 2010.

DEAN, R. et al. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 4, p. 414–430, 1 maio 2012.

DIK, A. J. Interactions Among Fungicides, Pathogens, Yeasts, and Nutrients in the Phyllosphere. p. 412–429, 1991.

DROBY, S.; LICHTER, A. Post-harvest botrytis infection: Etiology, development and management. **Botrytis: Biology, Pathology and Control**, p. 349–367, 2007.

DZHANFEZOVA, T. et al. Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) genetic resource collection. **Food Bioscience**, v. 36, p. 100620, 1 ago. 2020.

ELAD, Y. et al. Botrytis spp. and diseases they cause in agricultural systems - An introduction. **Botrytis: Biology, Pathology and Control**, p. 1–8, 2007.

ELAD, Y. et al. Plant hosts of Botrytis spp. **Botrytis - The Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems**, p. 413–486, 1 jan. 2015.

ELEZ GAROFULIĆ, I. et al. 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**, v. 62, n. 1, p. 894–900, 1 jun. 2015.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 4, p. 148–152, 1 abr. 2006.

FELIZIANI, E.; ROMANAZZI, G. Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management. **Journal of Berry Research**, v. 6, n. 1, p. 47–63, 1 jan. 2016.

FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. [s.l: s.n.].

FERNANDES, F. A. N.; SANTOS, V. O.; RODRIGUES, S. Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. **Food Research International**, v. 115, p. 16–22, 1 jan. 2019.

FERNÁNDEZ, A.; THOMPSON, A. The inactivation of Salmonella by cold atmospheric plasma treatment. **Food Research International**, v. 45, n. 2, p. 678–684, 1 mar. 2012.

FILHO, M. DE J. et al. Physicochemical, microbiological and sensory acceptance alterations of strawberries caused by gamma radiation and storage time. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 187–194, 19 ago. 2018.

GARCIA, L. C. et al. Effect of Antimicrobial Starch Edible Coating on Shelf-Life of Fresh Strawberries. **Packaging Technology and Science**, v. 25, n. 7, p. 413–425, 1 nov. 2012.

GIANNOGLOU, M. et al. Effect of cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields on strawberry quality and shelf-life. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 68, p. 102631, 1 mar. 2021.

GÖSSINGER, M. et al. Effects of processing parameters on colour stability of strawberry nectar from puree. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 171–178, 1 jan. 2009.

GRZEGORZEWSKI, F. et al. Treating lamb's lettuce with a cold plasma – Influence of atmospheric pressure Ar plasma immanent species on the phenolic profile of Valerianella locusta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 2285–2289, 1 dez. 2011.

HERCEG, Z. et al. Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice. **Food Chemistry**, v. 190, p. 665–672, 1 jan. 2016.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P. et al. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 3, p. 247–253, 1 mar. 2006.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P. et al. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 110, n. 2, p. 428–435, 15 set. 2008.

HERTWIG, C. et al. Decontamination of whole black pepper using different cold atmospheric pressure plasma applications. **Food Control**, v. 55, p. 221–229, 1 set. 2015.

HOLZ, G.; COERTZE, S.; WILLIAMSON, B. The ecology of botrytis on plant surfaces. **Botrytis: Biology, Pathology and Control**, p. 9–27, 2007.

HOSSEINI, S. M. et al. Design and characterisation of jet cold atmospheric pressure plasma and its effect on *Escherichia coli*, colour, pH, and bioactive compounds of sour cherry juice.

International Journal of Food Science & Technology, v. 56, n. 10, p. 4883–4892, 1 out. 2021.

HOU, Y. et al. Effect of cold plasma on blueberry juice quality. **Food Chemistry**, v. 290, p. 79–86, 30 ago. 2019.

HUANG, R. et al. Control of Postharvest Botrytis Fruit Rot of Strawberry by Volatile Organic Compounds of *Candida intermedia*. **Disease Control and Pest Management**, v. 101, n. 7, p. 859–869, 2011.

JACOFISKY, M.; GA WATSON - US PATENT 9, 295,280; 2016, UNDEFINED. Method and apparatus for cold plasma food contact surface sanitation. **Google Patents**, 2016.

JARVIS, W. R. Latent infections in the pre-and postharvest environment. **HortScience**, v. Vol. 29(7), jul. 1994.

JUNG, K. et al. Effect of X-ray, gamma ray, and electron beam irradiation on the hygienic and physicochemical qualities of red pepper powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 846–851, 1 out. 2015.

KE, D.; ZHOU, L.; KADER, A. A. Mode of Oxygen and Carbon Dioxide Action on Strawberry Ester Biosynthesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 5, p. 971–975, 1 set. 1994.

KESHAVARZI, M. et al. Enhancement of polyphenolic content extraction rate with maximal antioxidant activity from green tea leaves by cold plasma. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 10, p. 3415–3422, 1 out. 2020.

KIM, J. E. et al. Microbial decontamination of onion powder using microwave-powered cold plasma treatments. **Food Microbiology**, v. 62, p. 112–123, 1 abr. 2017.

LACOMBE, A. et al. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. **Food Microbiology**, v. 46, p. 479–484, 1 abr. 2015.

LEGARD, D. E. et al. Development of a Reduced Use Fungicide Program for Control of Botrytis Fruit Rot on Annual Winter Strawberry. **Plant Disease**, v. 89, n. 12, p. 1353–1358, dez. 2005.

LI, M. et al. Physiological and Metabolomic Analysis of Cold Plasma Treated Fresh-Cut Strawberries. 2019.

LI, X.; FARID, M. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies. **Journal of Food Engineering**, v. 182, p. 33–45, 1 ago. 2016.

LIAO, X. et al. Application of a Dielectric Barrier Discharge Atmospheric Cold Plasma (Dbd-Acp) for Eshcerichia Coli Inactivation in Apple Juice. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 2, p. 401–408, 1 fev. 2018.

LIMA, G. et al. Effectiveness of Aureobasidium pullulans and Candida oleophila against postharvest strawberry rots. **Postharvest Biology and Technology**, v. 10, n. 2, p. 169–178, 1 fev. 1997.

LIMA, G. P. P. et al. Polyphenols in Fruits and Vegetables and Its Effect on Human Health. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, n. 11, p. 1065–1082, 26 maio 2014.

LIS, K. A. et al. Inactivation of Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes on ham with nonthermal atmospheric pressure plasma. **PLOS ONE**, v. 13, n. 5, p. e0197773, 1 maio 2018.

LORENZETTI, E. R. et al. Bioatividade de óleos essenciais no controle de Botrytis cinerea isolado de morangueiro. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 13, n. SPECIAL ISSUE, p. 619–627, 2011.

MCCORMACK, P. J.; WILDMAN, H. G.; JEFFRIES, P. Production of antibacterial compounds by phylloplane-inhabiting yeasts and yeastlike fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 60, n. 3, p. 927–931, 1994.

MERTELY, J. C.; MACKENZIE, S. J.; LEGARD, D. E. Timing of Fungicide Applications for Botrytis cinerea Based on Development Stage of Strawberry Flowers and Fruit. **Plant Disease**, v. 86, n. 9, p. 1019–1024, 2002.

MILOSAVLJEVIĆ, V.; KARKARI, S. K.; ELLINGBOE, A. R. Characterization of the pulse plasma source. **Plasma Sources Science and Technology**, v. 16, n. 2, p. 304, 2 mar. 2007.

MISRA, N. N. et al. Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. **Food Engineering Reviews**, v. 3, n. 3–4, p. 159–170, 5 dez. 2011.

MISRA, N. N. et al. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. **Journal of Food Engineering**, v. 125, n. 1, p. 131–138, 1 mar. 2014a.

MISRA, N. N. et al. Cold Plasma in Modified Atmospheres for Post-harvest Treatment of Strawberries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 10, p. 3045–3054, 1 set. 2014b.

MISRA, N. N. et al. The effects of nonthermal plasma on chemical quality of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 110, p. 197–202, 1 dez. 2015.

MOHAMMADI, X. et al. Emergence of cold plasma and electron beam irradiation as novel technologies to counter mycotoxins in food products. **World Mycotoxin Journal**, v. 14, n. 1, p. 75–83, 2021.

MOSTAFAVI, H. A.; MIRMAJLESSI, S. M.; FATHOLLAHI, H. The potential of food irradiation: Benefits and limitations. **Trends in vital Food and control engineering**, v. 5, p. 43–68, 2012.

MOURA, G. S. et al. Potencial de extratos etanólicos de propólis e extratos aquosos de plantas espontâneas no controle de doenças pós-colheita do morango. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 57–63, 30 dez. 2016.

NADAS, A.; OLMO, M.; GARCÍA, J. M. Growth of Botrytis cinerea and Strawberry Quality in Ozone-enriched Atmospheres. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p. 1798–1802, 1 jun. 2003.

- NADIM, Z. et al. Effect of Methylcellulose-Based Edible Coating on Strawberry Fruit's Quality Maintenance During Storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 1, p. 80–90, 1 fev. 2015.
- NIEMIRA, B. A. Cold Plasma Decontamination of Foods*. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 125–142, 2 mar. 2012.
- NIEMIRA, B. A.; SITES, J. Cold Plasma Inactivates Salmonella Stanley and Escherichia coli O157:H7 Inoculated on Golden Delicious Apples. **Journal of Food Protection**, v. 71, n. 7, p. 1357–1365, 1 jul. 2008.
- NUNES, M. C. N. et al. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. **Postharvest Biology and Technology**, v. 6, n. 1–2, p. 17–28, 1 jun. 1995.
- OEHMIGEN, K. et al. The Role of Acidification for Antimicrobial Activity of Atmospheric Pressure Plasma in Liquids. **Plasma Processes and Polymers**, v. 7, n. 3–4, p. 250–257, 22 mar. 2010.
- OH, Y. J.; SONG, A. Y.; MIN, S. C. Inhibition of Salmonella typhimurium on radish sprouts using nitrogen-cold plasma. **International Journal of Food Microbiology**, v. 249, p. 66–71, 16 maio 2017.
- O'NEILL, F. T. et al. Generation of active species in a large atmospheric-pressure plasma jet. **IEEE Transactions on Plasma Science**, v. 40, n. 11 PART2, p. 2994–3002, 2012.
- PAIXÃO, L. M. N. et al. Cold Plasma Effects on Functional Compounds of Siriguela Juice. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 1, p. 110–121, 1 jan. 2019.
- PALIYATH, G. et al. **Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers**. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2008.

- PAN, Y. et al. Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. **Wiley Online Library**, v. 18, n. 5, p. 1312–1326, 1 set. 2019.
- PANKAJ, S. K. et al. Applications of cold plasma technology in food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 5–17, 1 jan. 2014.
- PANKAJ, S. K. et al. Effect of high voltage atmospheric cold plasma on white grape juice quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 12, p. 4016–4021, 1 set. 2017.
- PANKAJ, S. K.; WAN, Z.; KEENER, K. M. Effects of Cold Plasma on Food Quality: A Review. **Foods 2018, Vol. 7, Page 4**, v. 7, n. 1, p. 4, 1 jan. 2018.
- PASQUALI, F. et al. Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus* L.). **Food Control**, v. 60, p. 552–559, 1 fev. 2016.
- PENG, G.; SUTTON, J. C. Evaluation of microorganisms for biocontrol of *Botrytis cinerea* in strawberry. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 13, n. 3, p. 247–257, 1991.
- PEREIRA, M. E. C. et al. Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1116–1119, dez. 2006.
- PEREIRA, R. N.; VICENTE, A. A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1936–1943, 1 ago. 2010.
- PERETTO, G. et al. Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. **Postharvest Biology and Technology**, v. 89, p. 11–18, 1 mar. 2014.

PERTOT, I. et al. Combining biocontrol agents with different mechanisms of action in a strategy to control *Botrytis cinerea* on grapevine. **Crop Protection**, v. 97, p. 85–93, 1 jul. 2017.

PETRASCH, S. et al. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, n. 6, p. 877–892, 1 jun. 2019.

PRASAD, P. et al. Effect of atmospheric cold plasma (ACP) with its extended storage on the inactivation of *Escherichia coli* inoculated on tomato. **Food Research International**, v. 102, p. 402–408, 1 dez. 2017.

RAMAZZINA, I. et al. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 107, p. 55–65, 1 set. 2015.

RAMAZZINA, I. et al. Effect of Cold Plasma Treatment on the Functional Properties of Fresh-Cut Apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 42, p. 8010–8018, 26 out. 2016.

RANA, S. et al. Atmospheric cold plasma (ACP) treatment improved in-package shelf-life of strawberry fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 102–112, 1 jan. 2020.

REINEKE, K.; MATHYS, A. Endospore Inactivation by Emerging Technologies: A Review of Target Structures and Inactivation Mechanisms. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 11, p. 255–274, 25 mar. 2020.

RENDUELES, E. et al. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 1251–1260, 1 jun. 2011.

RODRÍGUEZ, Ó. et al. Effect of indirect cold plasma treatment on cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.). **LWT**, v. 84, p. 457–463, 1 out. 2017.

SAKS, Y.; COPEL, A.; BARKAI-GOLAN, R. Improvement of harvested strawberry quality by illumination: colour and Botrytis infection. **Postharvest Biology and Technology**, v. 8, n. 1, p. 19–27, 1 abr. 1996.

SARANGAPANI, C. et al. Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, p. 235–241, 1 dez. 2017.

SCHOLTZ, V. et al. Nonthermal plasma — A tool for decontamination and disinfection. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 6, p. 1108–1119, 1 nov. 2015.

SCHUMACHER, J. Signal transduction cascades regulating differentiation and virulence in Botrytis cinerea. **Botrytis - The Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems**, p. 247–267, 1 jan. 2015.

SHAH, U. et al. Effects of cold plasma treatments on spot-inoculated Escherichia coli O157:H7 and quality of baby kale (Brassica oleracea) leaves. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 57, p. 102104, 1 out. 2019.

SHARMA, P. et al. Bacterial inactivation in whole milk using pulsed electric field processing. **International Dairy Journal**, v. 35, n. 1, p. 49–56, 1 mar. 2014.

SOGVAR, O. B.; KOUSHESH SABA, M.; EMAMIFAR, A. Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 114, p. 29–35, 1 abr. 2016.

SOWLEY, E. N. K.; SHAW, M. W.; DEWEY, F. M. Persistent, symptomless, systemic, and seed-borne infection of lettuce by Botrytis cinerea. **European Journal of Plant Pathology**, v. 126, n. 1, p. 61–71, 1 jan. 2010.

SRUTHI, N. U. et al. Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 368, p. 130809, 30 jan. 2022a.

SRUTHI, N. U. et al. Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 368, p. 130809, 30 jan. 2022b.

STAATS, M.; VAN BAARLEN, P.; VAN KAN, J. A. L. Molecular Phylogeny of the Plant Pathogenic Genus *Botrytis* and the Evolution of Host Specificity. **Molecular Biology and Evolution**, v. 22, n. 2, p. 333–346, 1 fev. 2005.

STAREK, A. et al. Evaluation of selected microbial and physicochemical parameters of fresh tomato juice after cold atmospheric pressure plasma treatment during refrigerated storage. **Scientific Reports 2019 9:1**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 10 jun. 2019.

SYLLA, J. et al. Control of *Botrytis cinerea* in strawberries by biological control agents applied as single or combined treatments. **European Journal of Plant Pathology**, v. 143, n. 3, p. 461–471, 1 nov. 2015.

TAPPI, S. et al. Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 33, p. 225–233, 1 fev. 2016.

TENDERO, C. et al. Atmospheric pressure plasmas: A review. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 61, n. 1, p. 2–30, 1 jan. 2006.

TENG, H. et al. Red raspberry and its anthocyanins: Bioactivity beyond antioxidant capacity. **Trends in Food Science & Technology**, v. 66, p. 153–165, 1 ago. 2017.

TERRY, L. A.; CHOPE, G. A.; GINÉ BORDONABA, J. Effect of water deficit irrigation and inoculation with *Botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 26, p. 10812–10819, 26 dez. 2007.

THIRUMDAS, R.; SARANGAPANI, C.; ANNAPURE, U. S. Cold Plasma: A novel Non-Thermal Technology for Food Processing. **Food Biophysics**, v. 10, n. 1, p. 1–11, 1 mar. 2015.

TREVIÑO-GARZA, M. Z. et al. Edible Active Coatings Based on Pectin, Pullulan, and Chitosan Increase Quality and Shelf Life of Strawberries (*Fragaria ananassa*). **Journal of Food Science**, v. 80, n. 8, p. M1823–M1830, 1 ago. 2015.

VAGELAS, I. et al. Biological Control of Botrytis Fruit Rot (Gray Mold) on Strawberry and Red Pepper Fruits by Olive Oil Mill Wastewater. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 23, n. 4, p. 1489–1491, nov. 2009.

VAN DEN HEUVEL, J. Effect of inoculum composition on infection of French bean leaves by conidia of *Botrytis cinerea*. **Netherlands Journal of Plant Pathology** 1981 **87:2**, v. 87, n. 2, p. 55–64, 1981.

VELLICCE, G. R. et al. Enhanced Resistance to *Botrytis cinerea* Mediated by the Transgenic Expression of the Chitinase Gene *ch5B* in Strawberry. **Transgenic Research** 2006 **15:1**, v. 15, n. 1, p. 57–68, fev. 2006.

VELOSO, J.; VAN KAN, J. A. L. Many Shades of Grey in *Botrytis*–Host Plant Interactions. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 7, p. 613–622, 1 jul. 2018.

VIZZOTTO, M. et al. Polpas de frutas: fonte de compostos antioxidantes. 2012.

WAGHMARE, R. Cold plasma technology for fruit based beverages: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 60–69, 1 ago. 2021.

WANG, H. et al. Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.). **Food Chemistry**, v. 214, p. 227–233, 1 jan. 2017.

WANG, R. X. et al. Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physiochemical properties evaluation. **The European Physical Journal D** 2012 **66:10**, v. 66, n. 10, p. 1–7, 30 out. 2012.

WEDGE, D. E. et al. Fungicide management strategies for control of strawberry fruit rot diseases in Louisiana and Mississippi. **Crop Protection**, v. 26, n. 9, p. 1449–1458, 1 set. 2007.

- WEDGE, D. E. et al. Fungicide Resistance Profiles for 13 *Botrytis cinerea* Isolates from Strawberry in Southeastern Louisiana. **International Journal of fruit Science**, v. 13, n. 4, p. 413–429, 2013.
- WEI, K. et al. Relationship between optical properties and soluble sugar contents of apple flesh during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 159, p. 111021, 1 jan. 2020.
- WILLIAMSON, B. et al. *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. **Molecular Plant Pathology**, v. 8, n. 5, p. 561–580, 1 set. 2007.
- WON, M. Y.; LEE, S. J.; MIN, S. C. Mandarin preservation by microwave-powered cold plasma treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 25–32, 1 fev. 2017.
- WSZELAKI, A. L.; MITCHAM, E. J. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 2, p. 125–133, 1 set. 2000.
- XU, L. et al. Microbial Inactivation and Quality Changes in Orange Juice Treated by High Voltage Atmospheric Cold Plasma. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 10, p. 1778–1791, 1 out. 2017.
- XU, X. M.; JEGER, M. J. Theoretical Modeling Suggests that Synergy May Result from Combined Use of Two Biocontrol Agents for Controlling Foliar Pathogens Under Spatial Heterogeneous Conditions. **Analytical and Theoretical Plant Pathology**, v. 103, n. 8, p. 768–775, 9 jul. 2013.
- YARAHMADI, M. et al. Postharvest Application of Gum and Mucilage as Edible Coating on Postharvest Life and Quality of Strawberry Fruit. **International journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, n. 4, p. 1279–1286, 2014.
- YINXIN, L. et al. Effect of cold atmospheric plasma on the gray mold rot of postharvest mulberry fruit. **Food Control**, v. 137, p. 108906, 1 jul. 2022.

ZHANG, F. S. et al. Effects of methyl jasmonate on postharvest decay in strawberry fruit and the possible mechanisms involved. **Acta Horticulturae**, v. 712 II, p. 693–698, 2006.

ZHANG, H. et al. Non-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 157–170, 1 abr. 2017.

ZHANG, Y. et al. Bactericidal effect of cold plasma on microbiota of commercial fish balls. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 52, p. 394–405, 1 mar. 2019a.

ZHANG, Z. H. et al. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 1, p. 1–13, 1 jan. 2019b.

ZHOU, D. et al. Effects of cold plasma, UV-C or aqueous ozone treatment on *Botrytis cinerea* and their potential application in preserving blueberry. **Journal of Applied Microbiology**, v. 127, n. 1, p. 175–185, 1 jul. 2019.

ZIUZINA, D. et al. Demonstrating the Potential of Industrial Scale In-Package Atmospheric Cold Plasma for Decontamination of Cherry Tomatoes. **Plasma Medicine**, v. 6, n. 3–4, p. 397–412, 2016.

ZIUZINA, D. et al. Investigation of a large gap cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 59, p. 102229, 1 jan. 2020a.

ZIUZINA, D. et al. Investigation of a large gap cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 59, p. 102229, 1 jan. 2020b.