

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes**

Dissertação



**EFICIÊNCIA DE REAÇÃO DO GÁS OZÔNIO E REFLEXO DA APLICAÇÃO
NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE
PIMENTÃO E PIMENTA**

Karine Von Ahn Pinto

Pelotas, 2023

Karine Von Ahn Pinto

**EFICIÊNCIA DE REAÇÃO DO GÁS OZÔNIO E REFLEXO DA APLICAÇÃO
NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE
PIMENTÃO E PIMENTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências (área do conhecimento: Ciência e Tecnologia de Sementes).

Orientadora: Gizele Ingrid Gadotti
Co-orientador: Maurizio Silveira Quadros

Pelotas, 2023

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a vida e ser a minha base para tudo.

Aos meus irmãos, Adryelly, Joaquim e Karoline que são as pessoas mais importantes em minha vida e por sempre me fortalecerem independente da distância. Aos meus pais, André Hoffmann Pinto, Ana Claudia Monteiro Von Ahn e Leila Goulart de Medeiros, por sempre me impulsionarem e através deles me tornei quem sou hoje. Ao meu companheiro Gabriel Duarte Lemos, por me apoiar em tudo e me fortalecer, principalmente nos momentos difíceis. Não conseguiria sem nenhum de vocês!

Aos meus amigos do Laboratório de Agrotecnologia e do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, não ousarei citar nomes para não ter possibilidade de esquecer de alguém, por todo auxílio e companheirismo, vocês tornaram tudo mais leve.

À minha orientadora, Gizele Ingrid Gadotti, por todo carinho, cuidado e preocupação, sempre foi muito mais que apenas uma professora/orientadora. Ao meu coorientador, Maurício Silveira Quadro, por todo suporte e por me fazer acreditar e retornar ao curso de Engenharia Agrícola. Palavras não expressam a gratidão que tenho por vocês e a dimensão do papel de vocês em minha vida, serão amizades que levarei para a vida.

Agradeço a Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pela estrutura e por me possibilitarem atingir tal título.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo fornecimento da bolsa, o que foi imprescindível para que eu conseguisse.

Por fim, agradeço à Feltrin Sementes Ltda, pelo fornecimento das sementes e apoio durante o projeto, a aproximação da academia com o setor privado é de extrema importância.

Resumo

PINTO, Karine Von Ahn. **Eficiência de reação do gás ozônio e reflexo da aplicação na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de pimentão e pimenta.** 2023. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

As pimentas e os pimentões pertencem ao gênero *Capsicum* sp. e representam uma parcela importante do consumo e produção de hortaliças no Brasil e no mundo. Sua produção representa um desafio no contexto agrícola brasileiro devido às complexidades envolvidas no manejo dessas culturas. O ozônio por ser um eficiente agente oxidante, pode ser utilizado no controle de patógenos, principalmente fungos, mas ainda não se sabe qual o seu real efeito quando aplicado em sementes. O objetivo do presente estudo é avaliar a qualidade sanitária e fisiológica de sementes de *Capsicum* sp. após exposição ao gás ozônio. Foram utilizadas quatro cultivares sob aplicação de ozônio em diferentes tempos de exposição: 0 (zero), 30, 60, 90, 120 e 150 minutos e convertidos para a dose real aplicada, avaliando-se a qualidade fisiológica através do teste de germinação, primeira contagem, comprimento de plântulas, índice de velocidade de germinação, emergência em areia, massa seca e fresca, a qualidade sanitária através do “*Blotter test*”. Foi avaliada a eficiência de reação do ozônio quando aplicado em sementes. Identificou-se que o ozônio no tratamento de sementes de pimentão e pimenta pode afetar a qualidade fisiológica, principalmente a velocidade de germinação e primeira contagem. A dose média aplicada de 530 mgO³ foi eficiente no controle de diversos fungos.

Palavras-Chave: *Capsicum* sp., Ozonização, Eficiência, Qualidade de sementes.

Abstract

PINTO, Karine Von Ahn. **Efficiency of ozone gas reaction and impact of its application on the physiological and sanitary quality of pepper and bell pepper seeds.** 2023. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Peppers and bell peppers belong to the *Capsicum* sp. genus and represent a significant portion of vegetable consumption and production in Brazil and worldwide. Their production poses a challenge in the Brazilian agricultural context due to the complexities involved in managing these crops. Ozone, being an efficient oxidizing agent, can be used in controlling pathogens, especially fungi, but its real effect when applied to seeds is not yet fully understood. The aim of this study is to evaluate the sanitary and physiological quality of *Capsicum* sp. seeds after exposure to ozone gas. Four cultivars were used under ozone application at different exposure times: 0 (zero), 30, 60, 90, 120, and 150 minutes, converted to the actual applied dose. Physiological quality was assessed through germination tests, first count, seedling length, germination speed index, emergence in sand, dry and fresh mass, and sanitary quality through the 'Blotter test'. The ozone reaction efficiency when applied to seeds was evaluated. It was identified that ozone treatment of bell pepper and chili seeds may affect physiological quality, particularly germination speed and first count. The average applied dose of 530 mgO³ was effective in controlling various fungi.

Keyword: *Capsicum* sp., Ozonation, Efficiency, Seed quality.

Lista de Figuras

Figura 1	Sistema de simulação de silo armazenador para ozonização das sementes.....	23
Figura 2	Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimentão da cultivar Brasileiro.....	27
Figura 3	Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimentão da cultivar Wallace.....	28
Figura 4	Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimentão da cultivar Inácio.....	28
Figura 5	Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimenta da cultivar Maria Bonita.....	29
Figura 6	Porcentagens (%) de sementes germinadas na Primeira Contagem de Germinação de sementes da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	40
Figura 7	Porcentagens (%) de sementes germinadas na Primeira Contagem de Germinação de sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	40
Figura 8	Porcentagens (%) de sementes germinadas na Primeira Contagem de Germinação de sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	41
Figura 9	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	42
Figura 10	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	42
Figura 11	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	43
Figura 12	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	43
Figura 13	Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	44
Figura 14	Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	44
Figura 15	Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	44

Figura 16	Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	45
Figura 17	Velocidade de germinação das sementes de pimentão e pimenta, das cultivares Inácio (A), Maria Bonita (B), Wallace (C) e Brasileiro (D) em função dos diferentes tempos de ozonização.....	46
Figura 18	Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	46
Figura 19	Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	47
Figura 20	Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	47
Figura 21	Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	48
Figura 22	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	49
Figura 23	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	49
Figura 24	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	50
Figura 25	Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1	Dose total aplicada em um mini silo, através de um ozonizador acoplado a um compressor de ar.....	25
Tabela 2	Dose real de ozônio aplicada (mgO ₃) em cultivares de sementes do gênero <i>Capsicum</i> sp., sob diferentes tempos de exposição e eficiência da reação do ozônio com as sementes.....	26
Tabela 3	Dose de ozônio aplicada (mgO ₃) em cultivares de sementes do gênero <i>Capsicum</i> sp., sob diferentes tempos de exposição.....	37
Tabela 4	Características iniciais de sementes de diferentes cultivares de pimentão e pimenta.....	39
Tabela 5	Incidência (%) de fungos em sementes de pimenta e pimentão sob diferentes tempos de exposição ao gás ozônio.....	52

Sumário

1	Projeto de pesquisa	9
1.1	Introdução	10
1.2	Objetivos e metas.....	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos e hipóteses	13
1.3	Material e métodos.....	13
1.3.1	Teste de sanidade	13
1.3.2	Tratamento de sementes de pimentão e pimenta com ozônio	14
1.4	Resultados esperados nos experimentos	17
1.5	Cronograma das atividades	18
2	ARTIGO I.....	19
2.1	Introdução	21
2.2	Material e métodos.....	22
2.2.1	Geração do ozônio	22
2.2.2	Processo de ozonização das sementes	22
2.2.3	Tratamento das sementes	23
2.2.4	Eficiência de reação	24
2.3	Resultados e discussão	25
2.4	Conclusão	30
3	ARTIGO II.....	32
3.1	Introdução	34
3.2	Materiais e métodos.....	35
3.2.1	Tratamento de sementes com ozônio.....	36
3.2.2	Teste de sanidade	39
3.3	Resultados e discussão	39
3.4	Conclusão	54
4	Considerações finais	55
5	Referências bibliográficas.....	56

1 Projeto de pesquisa

PRPPG – Pró- Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Aprovado pelo COCEPE em 10/02/2023 n°. 5793. Processo: 23110.037657/2022-02

Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de pimentão sob a influência do uso de gás ozônio

Equipe

Karine Von Ahn Pinto

Gizele Ingrid Gadotti

Maurizio Silveira Quadro

Amanda Martins Silva

Luan Martin Arejano

Rafael Miritz Bartz

Thalia Strelov dos Santos

1.1 Introdução

O gênero *Capsicum* abarca as variedades de pimentas e pimentões, todos pertencentes à família Solanaceae. Esse gênero é notável por sua considerável diversidade genética, contando com um total de 38 espécies catalogadas. No entanto, somente cinco delas foram domesticadas e são amplamente cultivadas, a saber: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. frutescens* e *C. chinense* (BIANCHI *et al.*, 2016; MOREIRA *et al.*, 2018; JACQZAMLJEN; ZUPANC; SLATNAR, 2020; CANSIAN-JUNIOR, 2021).

O pimentão e a pimenta representam uma parcela de grande importância no âmbito nacional e mundial, sendo produzido em praticamente todas as regiões brasileiras. Por possuírem frutos fonte de compostos bioativos importantes, tais como flavonoides e carotenoides, essas culturas possuem grande relevância no consumo, estando entre as dez hortaliças mais importantes para o mercado agro brasileiro (CARUSO *et al.*, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2023), em 2017, dados mais recentes referentes a produção de pimentão e pimenta no país, a produção em todo o Brasil chegou ao marco de 79.371 toneladas. É possível produzir ambas as culturas o ano todo, mas se desenvolvem melhor em clima seco e ameno, com irrigação. O solo deve apresentar boa drenagem, pois, quando encharcados, pode resultar em apodrecimento das raízes.

De acordo com a literatura, sua origem se deu na região tropical dos continentes americanos, compreendendo o México, bem como a América Central e América do Sul, segundo Silva *et al.* (2022).

Sua propagação é feita através de sementes e em virtude disso o controle sanitário e fisiológico apresenta grande importância para o sucesso de um bom estande de plantas e como consequência uma boa produtividade. A qualidade de uma semente nada mais é que o somatório de seus atributos genéticos, fisiológicos, sanitários e físicos (VIEIRA, 2018).

A associação de patógenos às sementes é de extrema relevância econômica, devido às consideráveis perdas que afetam uma ampla variedade

de cultivos. Dentre os patógenos em questão, os fungos se destacam como os principais disseminadores de doenças, resultando em complicações que incluem podridão, aborto, deformações e redução no tamanho das sementes, entre outras. Esses problemas têm um impacto negativo significativo na viabilidade e no vigor das sementes, o que, por sua vez, tem consequências econômicas substanciais (VIEIRA, 2018).

Devido à sua grande importância na economia e no consumo brasileiro, a utilização de técnicas adequadas para conservar a qualidade das sementes é de extrema relevância.

A produção de sementes do gênero *Capsicum sp.* representa um desafio no contexto agrícola brasileiro, devido às complexidades envolvidas na gestão dessa cultura. Portanto, torna-se imperativo empreender novas pesquisas sobre a sanitização e o controle de patógenos em sementes de pimentão e pimenta. Isso visa não apenas garantir a qualidade das sementes, mas também reduzir a necessidade de recorrer a agroquímicos (RODRIGUES *et al.*, 2021).

O controle de patógenos em sementes tem sido tradicionalmente realizado por meio do uso de produtos químicos, o que acarreta custos elevados e preocupações ambientais e toxicológicas significativas. Devido às crescentes preocupações em adotar abordagens mais amigáveis ao meio ambiente e reduzir a emissão de resíduos químicos, as regulamentações e leis alimentares impõem restrições na utilização de fungicidas. Dessa forma, a diversidade de fungicidas disponíveis para combater fungos tem diminuído. Além disso, o uso repetido dos poucos fungicidas regulamentados tem levado ao aumento da resistência dos organismos alvo a esses compostos (PANDISELVAM *et al.*, 2019).

O gás ozônio (O_3) é popular por ser um eficaz agente oxidante, sendo indicado para controle microbiano de fungos, bactérias, insetos e outros diversos contaminantes. Além disso, por não gerar resíduos não somente no ambiente, mas como no produto tratado, o ozônio tem uma grande vantagem quando comparado a outros agentes sanitizantes, onde uma vez que é gerado em excesso ele será degradado novamente a oxigênio (RODRIGUES, 2018).

O ozônio vem sendo avaliado e utilizado em diversas funcionalidades, como na conservação e vida útil de frutas e vegetais, redução de patógenos, entre diversos outros (VLASSI *et al.*, 2018). O ozônio é um potente agente oxidante que demonstrou ser eficaz contra diversos tipos de microrganismos que causam deterioração e/ou contaminação em frutas, vegetais, grãos e seus derivados (KAUR *et al.*, 2022; PANDISELVAM *et al.*, 2022; PREMJI, SRUTHI, PANDISELVAM, & KOTHAKOTA, 2022).

Devido às suas vantagens em relação às técnicas tradicionais de preservação de alimentos, o ozônio tem sido reconhecido como um dos sanitizantes mais poderosos, com um amplo espectro antimicrobiano e eficácia no controle de fungos, bactérias e protozoários (SIMPLÍCIO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2019; UZOMA, 2024), porém ainda não se sabe ao certo seu real efeito sobre sementes. Devido a isso surge a necessidade de avaliações a respeito de seu efeito na qualidade fisiológica e sanitária de sementes.

A decomposição do ozônio é influenciada por vários fatores, incluindo a temperatura, e, conforme a temperatura aumenta, a decomposição tende a acelerar (COATES, MAR, OJHA, & BUTLER, 2016; UZOMA, 2024).

Uma hipótese é de que o o tratamento realizado com gás ozônio é capaz de reduzir a incidência fúngica e conseqüentemente melhorar a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de pimenta e pimentão tratadas do que as não tratadas.

Diante do exposto, da grande importância econômica, no alto valor agregado em sementes híbridas de pimentão e pimenta, assim como suas adversidades que dificultam a produção de sementes, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do gás ozônio no controle alternativo de fungos em sementes do gênero *Capsicum* sp.

1.2 Objetivos e metas

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade sanitária e fisiológica de sementes de *Capsicum* sp. após exposição ao gás ozônio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficácia do tratamento alternativo com ozônio na redução/eliminação de fungos em sementes de *Capsicum* sp.
- Avaliar a qualidade fisiológica de sementes de *Capsicum* sp. após aplicação de gás ozônio.
- Encontrar faixas de doses benéficas para sementes de *Capsicum* sp.

1.3 Material e métodos

O trabalho será conduzido no Laboratório Didático de Análise de Sementes “Prof. Flávio Farias da Rocha” do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Laboratório de Agrotecnologia, no Laboratório de Águas e Efluentes e no Laboratório de Sanidade de Sementes, todos pertencentes à Universidade Federal de Pelotas, no período de setembro 2021 a maio 2023. Serão utilizados 4 lotes de sementes do gênero *Capsicum* sp.: 3 cultivares de sementes de pimentão: Brasileiro, Inácio e Wallace, 1 cultivar de sementes de pimenta: Maria Bonita, fornecidas pela empresa Feltrin.

1.3.1 Teste de sanidade

Para detecção dos fungos em sementes de pimentão e de pimenta será realizada uma avaliação da qualidade sanitária dos 4 lotes de sementes através do método “Blotter Test”, utilizando 200 sementes para cada cultivar, divididas em duas subamostras de 25 sementes para cada repetição de 50 sementes.

As sementes serão semeadas em caixas plásticas do tipo “gerbox”, previamente desinfestadas com álcool 70% e hipoclorito de sódio a 1%, contendo duas folhas de papel mata-borrão esterilizado, sendo umedecidas com água destilada e esterilizada. Após esse processo, as sementes serão incubadas à 25°C, com fotoperíodo alternado (12 horas luz e 12 horas no escuro), durante sete dias (BRASIL, 2009). Posteriormente as sementes serão analisadas com o auxílio de microscópio estereoscópio e óptico para a

observação das estruturas morfológicas dos fungos com auxílio de bibliografia especializada (BARNETT; HUNTER, 1972), determinando-se o percentual de sementes infestadas por patógenos.

1.3.2 Tratamento de sementes de pimentão e pimenta com ozônio

As 4 cultivares serão avaliadas com relação ao tratamento com o gás ozônio. Será utilizada uma amostra de sementes testemunha de cada cultivar, que será submetida aos seguintes testes: teor de água, germinação e “blotter test”. E outra amostra de sementes tratadas com gás ozônio, o qual é proveniente de um ozonizador da marca Panozon, modelo P+70 por um tempo de ozonização de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos.

As doses de ozônio aplicadas serão mensuradas por meio do método iodométrico descrito por Hoss (2020), serão utilizados dois frascos lavadores de gás, com 400 mL de iodeto de potássio 2% em cada frasco.

Após parar o borbulhamento, adiciona-se rapidamente 10 mL de ácido sulfúrico (2N), a fim de diminuir o pH. Transfere-se o líquido de cada frasco para dois Erlenmeyers de 1L e posteriormente devem ser enxaguados completamente os frascos lavadores com água destilada três vezes, retendo a água do enxágue no respectivo Erlenmeyer.

Titulou-se com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ até a solução ficar com uma coloração amarela pálida, em seguida adicionou-se 5mL do indicador amido no frasco, criando uma coloração azulada. Continuou-se titulando até o azul desaparecer e anotou-se o volume de titulante utilizado para cada frasco.

$$\text{Dose de ozônio (mg/min)} = \frac{(A + B) \cdot N \cdot 24}{T}$$

Onde:

A = volume de titulante do frasco A (mL);

B = volume de titulante do frasco B (mL);

N = normalidade do $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (e);

T = tempo de ozonização (min).

Após receberem o tratamento com suas devidas doses, serão realizados os seguintes testes:

Teor de água das sementes - será determinado pelo método padrão de estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2009). Simultaneamente, será determinado o peso da matéria seca das sementes, sendo os resultados expressos em mg.semente^{-1} .

Teste de germinação – serão utilizadas 50 sementes por repetição, totalizando quatro repetições de 200 sementes. As sementes serão semeadas em duas folhas de papel mata-borrão, umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel e acondicionadas em caixas tipo gerbox. Serão colocadas em um germinador à temperatura de 20-30°C. As avaliações serão realizadas aos 14 dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

Primeira contagem de germinação - será realizada em conjunto com o teste de germinação com avaliação no sétimo dia após a semeadura, com os resultados expressos em porcentagem, conforme (BRASIL, 2009).

Emergência em areia - o teste de emergência será realizado em bandejas de plástico com camadas de 10 cm de areia, a fim de simular as condições do ambiente de semeadura em campo, onde foram semeadas 50 sementes de cada repetição, totalizando 200 sementes por tratamento. A avaliação será baseada na contagem final do total de plântulas emergidas por amostra, realizada 14 dias após a semeadura. O resultado final foi expresso em porcentagem de plântulas emergidas.

Comprimento de Plântulas – o teste será realizado em caixas gerbox com duas folhas mata-borrão, onde as sementes serão distribuídas horizontalmente no topo do papel, posicionadas em um ângulo de 45° dentro dos germinadores, com 10 sementes em cada repetição, totalizando 40 sementes por tratamento. Aos 14 dias serão avaliadas através do software Image J, onde os resultados serão expressos em centímetros, conforme Krzyzanowski *et al.* (2020).

Índice de velocidade de germinação – o teste será realizado a partir do teste de germinação, onde as sementes serão avaliadas diariamente no mesmo horário, durante 14 dias. Ao fim do teste calcula-se o índice de velocidade de germinação através da equação:

$$IVG = \sum \frac{Gi}{Ni}$$

Onde:

IVG = índice de velocidade de germinação;

G = número de plântulas normais computadas, $i = 1 \rightarrow 14$;

N = número de dias da semeadura, $i = 1 \rightarrow 14$.

Resultados expressos sem unidade dimensional, conforme Krzyzanowski *et al.* (2020).

Massa seca e fresca – o teste será realizado a partir do teste de germinação e teste de comprimento, seguindo as especificações para a cultura, segundo Brasil (2009). Serão coletadas 10 plântulas normais de forma aleatória, com o auxílio de uma lâmina de barbear serão retirados os cotilédones e descartados. Posteriormente colocados em recipientes de alumínio previamente tarados e identificados, pesados para obtenção da massa fresca, em seguida postos em estufa termoelétrica regulada a 80 °C, durante 24 horas. Após esse período, as amostras serão colocadas em dessecador até a estabilização da temperatura, para posteriormente a pesagem e quantificação da massa seca. Os valores obtidos serão divididos pelo número de plântulas, resultados expressos em mg/plântula, conforme Krzyzanowski *et al.* (2020).

Todos os testes foram realizados em quantidade reduzida de sementes devido ao alto valor agregado às sementes de pimentão, porém ainda assim em conformidade com as metodologias utilizadas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial (6 x 4) seis períodos de exposição (seis doses de ozônio) e quatro repetições. Os resultados gerados pela caracterização das amostras foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pela análise de Tukey (5%), através do software RBio. As cultivares foram avaliadas separadamente.

1.4 Resultados esperados nos experimentos

Identificação dos principais patógenos presentes nas sementes de pimentão e verificação da eficiência do tratamento com gás ozônio no controle dos fungos identificados.

Os dados fornecidos por este estudo auxiliarão produtores de sementes do gênero *Capsicum* no controle de fungos, de modo a aumentar a uniformidade das lavouras e sanar problemas referentes a qualidade sanitária das sementes.

2 ARTIGO I

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REAÇÃO DO GÁS OZÔNIO EM SEMENTES DE PIMENTÃO E PIMENTA.

RESUMO: A produção de sementes do gênero *Capsicum* sp. apresenta desafios significativos na agricultura brasileira, devido à complexidade da gestão desse cultivo, portanto, é de suma importância realizar estudos dedicados à sanitização e ao controle de patógenos. O ozônio, por ser um agente oxidante, tem seu uso avaliado para a redução de patógenos. A decomposição do ozônio é influenciada por diversos fatores, com a temperatura desempenhando um papel significativo. Conforme a temperatura aumenta, a decomposição tende a acelerar. O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência de reação do gás ozônio através de diferentes tempos de exposição em sementes do gênero *Capsicum* sp. – pimenta e pimentão. O ozônio foi aplicado nas sementes através de um silo armazenador, em diferentes tempos de exposição: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos, com quatro repetições em cada tempo. Foram utilizadas quatro cultivares do gênero *Capsicum* sp., três de pimentão e uma de pimenta. Para quantificar a dose que não reagiu com as sementes foi utilizado o método iodométrico, conseqüentemente obtém-se a dose aplicada e sua eficiência de reação. Nas condições testadas, pôde-se concluir que a temperatura ambiente, é um fator condicionante para a eficiência da reação do ozônio em sementes do gênero *Capsicum* sp., onde temperaturas mais amenas (aprox. 20 °C) são mais propícias para elevar a eficiência do tratamento. As eficiências encontradas variaram de 89,63% a 99,07%. Identificou-se também que as cultivares com menores dimensões apresentaram comportamento linear com tendência de redução, já as cultivares com dimensões maiores apresentaram comportamento não linear, com maiores valores entre 130 e 140 min de exposição.

Palavras-chave: Ozonização; Tratamento de sementes; *Capsicum* sp.

EVALUATION OF THE REACTION EFFICIENCY OF OZONE GAS THROUGH DIFFERENT EXPOSURE TIMES IN SEEDS OF BELL PEPPER AND PEPPER.

ABSTRACT: The production of *Capsicum* sp. genus seeds presents significant challenges in Brazilian agriculture due to the complexity of managing this crop. Therefore, it is of paramount importance to conduct studies focused on sanitization and pathogen control. Ozone, being an oxidizing agent, is being evaluated for its potential in pathogen reduction. The decomposition of ozone is influenced by various factors, with temperature playing a significant role. As the temperature increases, ozone decomposition tends to accelerate. The objective of this study is to assess the reaction efficiency of ozone gas at different exposure times in *Capsicum* sp. seeds - both pepper and bell pepper varieties. Ozone was applied to the seeds through a storage silo at different exposure times: 0, 30, 60, 90, 120, and 150 minutes, with four repetitions at each time interval. Four cultivars of the *Capsicum* sp. genus were used, three of them being bell peppers, and one being a chili pepper. To quantify the dose that did not react with the seeds, the iodometric method was employed, subsequently determining the applied dose and its reaction efficiency. Under the tested conditions, it was concluded that ambient temperature is a determining factor for the efficiency of ozone reaction in *Capsicum* sp. seeds, with milder temperatures (around 20°C) being more conducive to enhancing treatment efficiency. The efficiencies ranged from 89.63% to 99.07%. It was also observed that cultivars with smaller dimensions exhibited a linear trend with a tendency to decrease, while cultivars with larger dimensions displayed a non-linear behavior, with higher values between 130 and 140 minutes of exposure.

Keywords: Ozonization; Seed Treatment; *Capsicum* sp.

2.1 Introdução

O gênero *Capsicum* abrange as variedades de pimentas e pimentões, pertencentes à família Solanaceae. É notável pela sua extensa diversidade genética, compreendendo um total de 38 espécies catalogadas. No entanto, apenas cinco delas foram domesticadas e são amplamente cultivadas, a saber: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. frutescens* e *C. chinense* (BIANCHI *et al.*, 2016; MOREIRA *et al.*, 2018; JACQZAMLJEN; ZUPANC; SLATNAR, 2020; CANSIAN-JUNIOR, 2021).

O gênero *Capsicum* engloba variedades de pimentas e de pimentão com origem nas Américas, notavelmente apreciadas no México há milênios. Atualmente, essas pimentas são consumidas globalmente e são cruciais para a dieta de um quarto da população mundial. As duas culturas possuem alta relevância tanto a nível nacional quanto internacional, com produção de cerca de 79.371 toneladas em 2017 no Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023). A associação de patógenos às sementes é economicamente significativa, especialmente fungos, causando danos consideráveis às sementes. Embora seja possível cultivar ambas as culturas ao longo do ano, elas tendem a se desenvolver de forma mais eficiente em regiões mais secas e temperaturas amenas (CARUSO *et al.*, 2019; BIANCHI *et al.*, 2020; FABELA-MORÓN *et al.*, 2020).

A produção de sementes do gênero *Capsicum* sp. representa um desafio na agricultura brasileira devido à complexidade da gestão dessa cultura. Portanto, é crucial conduzir pesquisas focadas na sanitização e no controle de patógenos nas sementes de pimentão, com o objetivo de garantir a qualidade das sementes e reduzir a dependência de agroquímicos. Historicamente, o controle de patógenos em sementes tem envolvido o uso de produtos químicos, resultando em custos elevados e preocupações relacionadas ao meio ambiente e à segurança. Restrições regulatórias têm limitado o uso de fungicidas devido a preocupações ambientais, o que, por sua vez, tem levado a uma redução na disponibilidade de fungicidas e ao aumento da resistência dos patógenos-alvo a essas substâncias. (PANDISELVAM *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2021)

O ozônio tem sido extensivamente avaliado e aplicado em diversas situações, incluindo a conservação e extensão da vida útil de frutas e vegetais, além de sua eficácia na redução de patógenos. Como um agente oxidante poderoso, o ozônio

demonstrou ser eficaz no combate a microrganismos que causam deterioração e contaminação (VLASSI *et al.*, 2018; KAUR *et al.*, 2022; PANDISELVAM *et al.*, 2022; PREMJI, SRUTHI, PANDISELVAM, & KOTHAKOTA, 2022).

A decomposição do ozônio é influenciada por vários fatores, incluindo a temperatura, e, conforme a temperatura aumenta, a decomposição tende a acelerar (COATES, MAR, OJHA, & BUTLER, 2016; UZOMA, 2024).

Diante do exposto, da grande importância econômica, no alto valor agregado em sementes híbridas de pimentão e pimenta, assim como suas adversidades que dificultam a produção de sementes, além de buscar avaliar condições reais de tratamento das sementes onde outras variáveis influenciam, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência de reação do gás ozônio através de diferentes tempos de exposição em sementes do gênero *Capsicum* sp. – pimenta e pimentão.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático de Análise de Sementes “Prof. Flávio Farias da Rocha” do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Laboratório de Agrotecnologia e no Laboratório de Águas e Efluentes, todos pertencentes à Universidade Federal de Pelotas, no período de novembro de 2022 a maio de 2023.

2.2.1 Geração do ozônio

O ozônio foi gerado a partir de um ozonizador da marca Panozon, modelo P+70, com princípio de geração de descarga eletroquímica, chamado efeito corona, utilizando como fonte principal o ar atmosférico. A capacidade de geração do ozonizador é de 3,89 mg/min.

2.2.2 Processo de ozonização das sementes

As sementes foram depositadas em um ambiente que simula as condições de um silo armazenador, sendo confeccionado em tubo de Policloreto de Vinila (PVC), com dimensões: 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura. A 10 cm do fundo foi colocada uma tela de metal, com o objetivo de garantir melhor distribuição do ozônio

no silo. As vedações superiores e inferiores foram feitas com tampas de mesmo diâmetro e material do tubo. Foram utilizadas amostras de 600 sementes, formando uma camada que não apresentou pressão estática.

O ozônio foi insuflado pela parte inferior do silo, através de um compressor de ar com capacidade de vazão de 1 L/min, que quando associado ao ozonizador é capaz de insuflar ar com concentração de $3,89 \text{ mgO}_3 \cdot \text{L}_{\text{ar}}^{-1}$.

Na saída superior do silo, foi acoplado um sistema de medição de concentração de ozônio, como mostra a Figura 1. O sistema possibilitou determinar a quantidade de ozônio que não reagiu com as sementes e, por consequência, a eficiência de reação de ozônio nas respectivas doses aplicadas.



Figura 1 - Sistema de simulação de silo armazenador para ozonização das sementes
Fonte: Autora, 2023

2.2.3 Tratamento das sementes

Foram utilizados quatro lotes de sementes do gênero *Capsicum* sp.: três cultivares de pimentão: Brasileiro, Inácio e Wallace, uma cultivar de pimenta: Maria Bonita, fornecidas pela empresa Feltrin Sementes Ltda.

As sementes foram expostas ao gás ozônio em diferentes tempos: 30, 60, 90, 120 e 150 minutos, com quatro repetições em cada tempo.

2.2.4 Eficiência de reação

Para avaliar e quantificar a eficiência de reação do ozônio com as sementes utilizou-se o método iodométrico descrito por Hoss (2020), onde oxidantes reagem com o excesso de íons iodeto e verifica-se o iodo liberado através de um redutor padrão, neste caso, o tiosulfato de sódio.

O titulante foi padronizado previamente à realização do teste, para tal se utilizou um Erlenmeyer com 150mL de água destilada, constantemente agitado, adicionou-se 1mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, 20mL de Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$), 0,1N, e 2g de Iodeto de Potássio (KI). A mistura permaneceu durante 6 minutos em descanso no escuro. Titulou-se com o Tiosulfato de Sódio ($Na_2S_2O_3$), 0,1N, até que a mistura ficasse incolor quase por completo. Adicionou-se 1mL do indicador amido e titulou-se até a cor azul desaparecer. A normalidade do titulante é igual a dois dividido pelo volume de $Na_2S_2O_3$ consumido (mL) (HOSS, 2020).

Para determinação de ozônio foi preenchida a bureta de 50mL, classe A, com o titulante padronizado previamente. Em dois frascos lavadores, adicionou-se 400 mL de solução de iodeto de potássio (2%) e borbulhou-se gás ozônio através dos frascos. Após parar o borbulhamento, adicionou-se rapidamente 10 mL de ácido sulfúrico (2N), a fim de diminuir o pH. Transferiu-se o líquido de cada frasco para dois Erlenmeyers de 1L e enxaguou-se completamente os frascos lavadores com água destilada três vezes, retendo a água do enxágue no respectivo Erlenmeyer. Titulou-se com $Na_2S_2O_3$ até a solução ficar com uma coloração amarela pálida, em seguida adicionou-se 5mL do indicador amido no frasco, criando uma coloração azulada. Continuou-se titulando até o azul desaparecer e anotou-se o volume de titulante utilizado para cada frasco (HOSS, 2020). Por fim obtém-se a dose de ozônio através da equação:

$$Dose\ de\ oz\ônio\ (mg/min) = \frac{(A + B). N. 24}{T}$$

Onde:

A = volume de titulante do frasco A (mL);

B = volume de titulante do frasco B (mL);

N = normalidade do $Na_2S_2O_3$ (e);

T = tempo de ozonização (min).

O método iodométrico permite quantificar a dose de ozônio que não reagiu com as sementes. Tendo em vista que a dose total aplicada pode ser quantificada através da capacidade de geração do ozonizador associado ao compressor de ar, é possível então quantificar a dose real aplicada nas sementes, através da relação:

$$Dr = \frac{Dt - De}{De} * 100$$

Onde:

Dr = Dose real aplicada nas sementes;

Dt = Dose total (obtida através da capacidade de geração do ozonizador associado ao compressor, multiplicado ao tempo de exposição);

De = Dose excedente (quantificada através do método iodométrico, segundo Hoss, 2020).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente, onde os resultados gerados pela caracterização das amostras foram avaliados através da análise de regressão simples, sendo selecionadas as equações que mais se adequam, através do software RBio. As cultivares foram avaliadas separadamente.

2.3 Resultados e discussão

Para identificar a dose total insuflada no silo de acordo com os diferentes tempos de exposição das sementes ao ozônio, foi realizada a associação da vazão do compressor e da capacidade de geração com os tempos de exposição, com os resultados expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dose total aplicada em um mini silo, através de um ozonizador acoplado a um compressor de ar.

Tempo de exposição (min)	Dose total aplicada (mgO ₃)
30	116,7
60	233,4
90	350,1
120	466,8
150	583,5

Após quantificar a dose excedente através do método iodométrico, pode-se avaliar a real dose aplicada nas diferentes cultivares de sementes de pimentão e pimenta, através da relação com a dose total aplicada (Tabela 2).

Tabela 2 – Dose real de ozônio aplicada (mgO_3) em cultivares de sementes do gênero *Capsicum* sp., sob diferentes tempos de exposição e eficiência da reação do ozônio com as sementes.

Cultivar	Tempo de ozonização (min)	Dose real aplicada (mg O_3)	Eficiência (%)
Brasiliano	30	114,81	98,33
	60	230,27	98,61
	90	347,03	99,07
	120	462,70	99,07
	150	576,86	98,81
Inácio	30	115,46	98,89
	60	224,43	96,11
	90	336,22	95,99
	120	436,11	93,38
	150	536,43	91,89
Wallace	30	104,65	89,63
	60	212,54	91,02
	90	321,73	91,85
	120	434,38	93,01
	150	539,03	92,33
Maria Bonita	30	108,97	93,33
	60	216,22	92,59
	90	326,05	93,09
	120	431,78	92,45
	150	537,73	92,11

De forma análoga ao tempo de exposição, quanto maior o tempo, maior a dose aplicada às sementes, todavia, cada cultivar reagiu em quantidades diferentes no mesmo tempo de ozonização.

A partir da dose real aplicada pôde-se aferir a eficiência de reação do ozônio com as sementes, onde as cultivares foram avaliadas separadamente, seguidas nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

A cultivar Brasiliano apresentou alta eficiência, quando comparada às outras, variando de 98,33 a 99,07%. A eficiência apresentou aumento a partir da dose de 30 minutos até 90 minutos, posteriormente expressou redução. A partir da regressão polinomial de segunda ordem, indica uma linha de tendência para seguir reduzindo.

Segundo a equação da regressão, o tempo de maior eficiência se daria em 133,5 minutos, atingindo 99,37% (Figura 2).

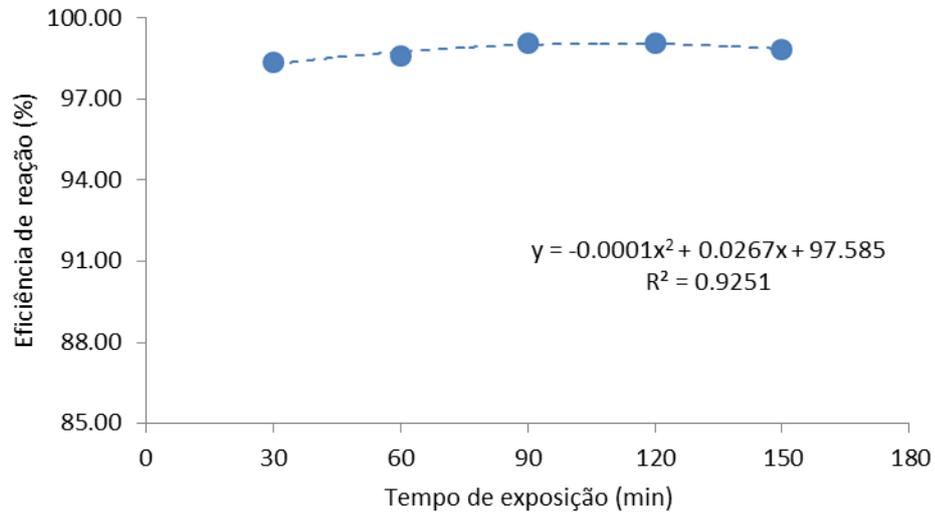


Figura 2 – Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimentão da cultivar Brasileiro.
Fonte: Autora, 2023.

Com relação a cultivar Wallace, o comportamento foi semelhante ao da Brasileiro, onde a eficiência se elevou até certo ponto e em seguida reduziu (Figura 3). Através da equação de segunda ordem obtida pela regressão simples, pode-se indicar que o tempo de exposição com maior eficiência se daria aos 131,67 minutos, com eficiência de 92,65%.

Relacionando as duas cultivares mencionadas, os tempos de exposição de máxima eficiência são aproximados nas duas situações, mesmo que a eficiência se dê em quantidades diferentes.

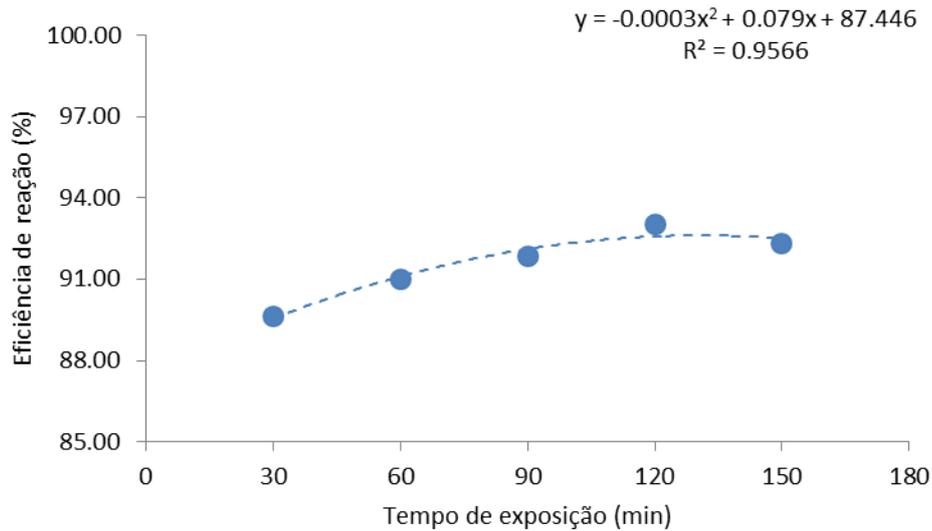


Figura 3 – Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimentão da cultivar Wallace.
Fonte: Autora, 2023.

A cultivar Inácio (Figura 4), apresentou a melhor eficiência de reação aos 30 minutos de exposição ao ozônio (98,89%) e em seguida seguiu reduzindo para os outros tempos, de forma proporcional. Esse comportamento indica que primeiramente, o ozônio encontra a barreira de sementes e reage com elas, em seguida conforme o tempo aumenta, ocorre saturação do ambiente pelo ozônio e como consequência a eficiência segue de forma decrescente.

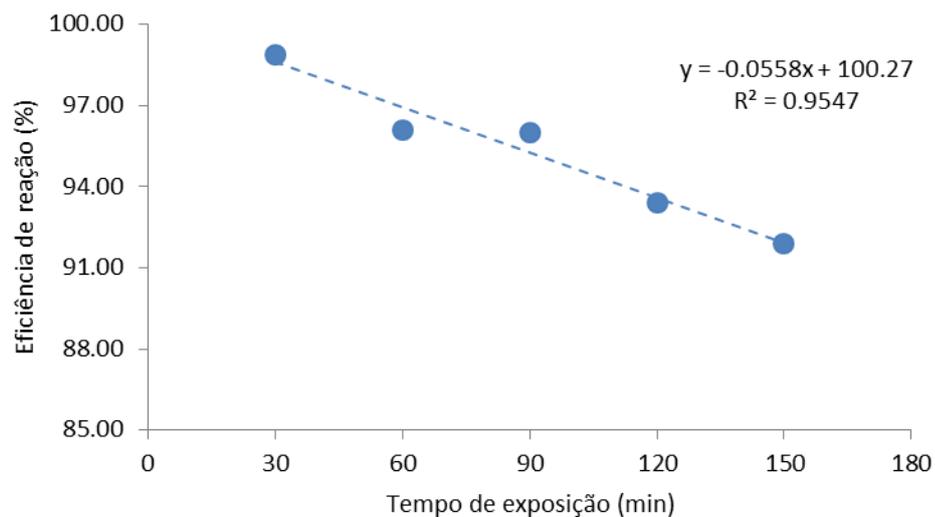


Figura 4 – Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimentão da cultivar Inácio.
Fonte: Autora, 2023.

De forma semelhante ao comportamento da cultivar Inácio, a cultivar Maria Bonita, apresentou maior eficiência na dose inicial, de 30 minutos de exposição, atingindo 93,33%, seguindo em contração para doses maiores de ozônio. Seguindo a mesma hipótese de saturação do ambiente com o gás, porém no geral, as médias foram menores, o que se dá ao fato de as dimensões da cultivar serem inferiores as da cultivar Inácio, o que permite a passagem do gás de forma mais fácil, elevando a dose excedente e reduzindo a eficiência (Figura 5).

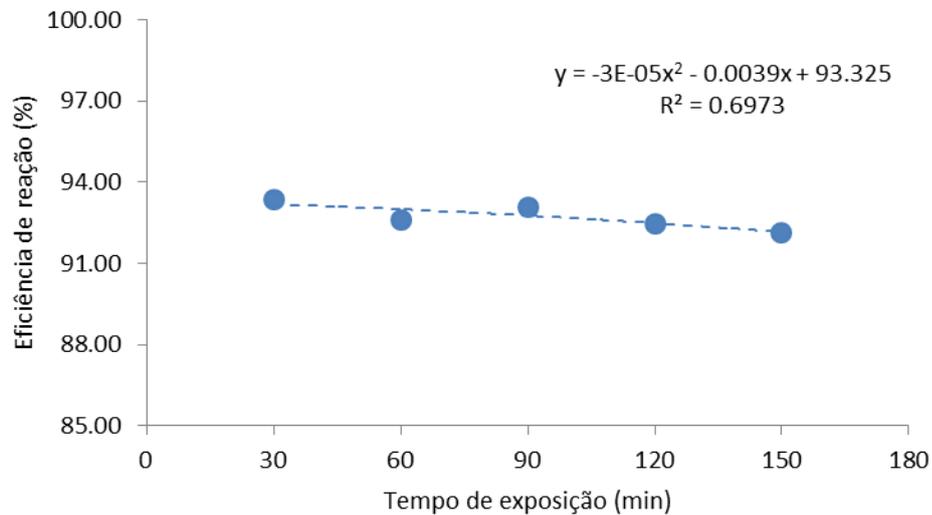


Figura 5 – Eficiência de reação do ozônio com as sementes de pimenta da cultivar Maria Bonita. Fonte: Autora, 2023.

Uma hipótese para tal comportamento seria a respeito das dimensões, comprimento e largura, das sementes serem diferentes, sendo elas, em ordem decrescente: Wallace – 5,5 e 4 mm; Brasileiro – 5 e 4 mm; Inácio – 4,5 e 4 mm; Maria Bonita – 4 e 3 mm, o que indicaria que a cultivar que teria reagido em maior quantidade seria a Wallace, porém, não foi o observado. No geral, a cultivar que mais reagiu com o gás foi a Brasileiro, o que descarta que as dimensões são a única influência na eficiência de aplicação.

Outro ponto importante, é que as amostras foram ozonizadas em dias diferentes e em horários diferentes, com isso, houve variação na temperatura e umidade do ambiente em que ocorreram as aplicações. Seguindo as informações contidas no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), entre os dias 7 e 22 de dezembro de 2022, dias em que ocorreram as aplicações, as

temperaturas variaram entre 17 e 31,1 °C, o que pode acarretar em alterações no comportamento do gás. Ao longo do mês, as temperaturas aumentaram, logo, as sementes das cultivares que foram ozonizadas na primeira quinzena (Brasiliano e Inácio), apresentaram comportamentos diferentes com relação à eficiência, quando comparadas entre si, porém valores mais altos, quando comparadas às outras cultivares, o que indica uma importante influência da temperatura ambiente para a reação do ozônio nas sementes.

De acordo com Ruppenthal (2021), ao avaliar a eficiência de reação de sementes de grão de bico expostas ao ozônio, em diferentes tempos, identificou uma alta eficiência inicialmente (5 min) e em seguida uma tendência de redução até os 30 minutos, onde inicialmente é motivada pela resistência da massa de sementes e pelo tempo de saturação do ambiente isolado pelo gás. Posteriormente houve aumento na eficiência, principalmente entre os 60 e 120 minutos, influenciada pelo produto da reação do ozônio com as sementes que ao ser expulso do silo, é encaminhado para o sistema de medição, ocorrendo uma redução na reação entre o ozônio e o iodeto de potássio. No geral, para o autor, pequenos tempos de exposição das sementes ao ozônio atingem maior eficiência, indicando um estudo mais específico de aplicações em bateladas.

Segundo Oliveira *et al.* (2020), a concentração de ozônio nas doses iniciais é de extrema importância em relação ao tempo de saturação do meio, onde em diferentes concentrações de ozônio, o tempo para ocorrer saturação variou entre 15 e 40 minutos, ao avaliar a cinética da decomposição do ozônio em um lote de castanha-do-Brasil, de forma análoga, para Abreu *et al.* (2022), ao avaliar a cinética da decomposição em um lote de feijão-caupi.

Outro ponto importante é que o fator temperatura ambiente se mostrou ser um fator condicionante para a eficiência da reação do ozônio, onde temperaturas mais amenas (aprox. 20 °C) são mais propícias para elevar a eficiência do tratamento.

2.4 Conclusão

As eficiências encontradas variaram de 89,63% a 99,07%. Identificou-se também que as cultivares com menores dimensões (Maria Bonita e Inácio) apresentaram comportamento linear com tendência de redução, já as cultivares com

dimensões maiores (Brasiliano e Wallace) apresentaram comportamento não linear, com maiores valores entre 130 e 140 min de exposição.

3 ARTIGO II

QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE PIMENTA E PIMENTÃO TRATADAS COM GÁS OZÔNIO

RESUMO: As variedades de pimentas e pimentões são classificadas sob o gênero *Capsicum* sp. e desempenham um papel significativo no consumo e na produção de hortaliças, tanto no Brasil quanto em nível global. A produção dessas plantas apresenta desafios notáveis no contexto da agricultura brasileira, devido à complexidade associada ao seu cultivo. O ozônio, devido à sua eficácia como agente oxidante, surge como uma possível ferramenta no controle de patógenos, com foco especial em combater fungos. Entretanto, permanece uma incógnita o real impacto de sua aplicação em sementes. O objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade sanitária e fisiológica de sementes do gênero *Capsicum* sp. após exposição ao gás ozônio. Foram utilizadas quatro cultivares sob aplicação de ozônio em diferentes tempos de exposição: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos, avaliando-se a qualidade fisiológica através do teste de germinação, primeira contagem, comprimento de plântulas, índice de velocidade de germinação, emergência em areia, massa seca e fresca, a qualidade sanitária através do “*Blotter test*”. Através do estudo foi possível concluir que a utilização do gás ozônio no tratamento de sementes do gênero *Capsicum* sp. pode afetar a qualidade fisiológica, principalmente na redução da velocidade de germinação e primeira contagem, indicando a possibilidade do gás causar dormência nas sementes. O gás ozônio, na dose aplicada em 150 minutos, foi eficiente no controle dos fungos *Rhizopus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Nigrospora* sp., *Epicoccum* sp., *Bipolaris* sp., *Alternaria alternata*, *Curvularia* sp., *Mucor* sp., *Aspergillus niger* e *Nigrospora* sp. em sementes do gênero *Capsicum*. O ozônio elevou a incidência do fungo *Chaetomium* sp. em sementes de pimentão e pimenta.

Palavras-chave: *Capsicum* sp.; Qualidade de sementes; Ozonização; Tratamento de sementes.

PHYSIOLOGICAL AND SANITARY QUALITY OF PEPPER AND PEPPER SEEDS TREATED WITH OZONE GAS

ABSTRACT: Varieties of peppers and bell peppers are classified under the *Capsicum* sp. genus and play a significant role in vegetable consumption and production, both in Brazil and globally. The production of these plants presents notable challenges in the context of Brazilian agriculture due to the complexity associated with their cultivation. Ozone, due to its efficacy as an oxidizing agent, emerges as a potential tool for pathogen control, with a special focus on combating fungi. However, the true impact of its application on seeds remains an unknown. The objective of the current study was to assess the sanitary and physiological quality of *Capsicum* sp. genus seeds after exposure to ozone gas. Four cultivars were used under ozone application at different exposure times: 0, 30, 60, 90, 120, and 150 minutes. The physiological quality was evaluated through germination testing, first count, seedling length, germination speed index, seed emergence, dry and fresh mass, and the sanitary quality was assessed through the Blotter test. The study concluded that the use of ozone gas in the treatment of *Capsicum* sp. genus seeds can affect physiological quality, primarily by reducing germination speed and first count, indicating the potential for the gas to induce seed dormancy. Ozone, when applied for 150 minutes, was effective in controlling fungi such as *Rhizopus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Nigrospora* sp., *Epicoccum* sp., *Bipolaris* sp., *Alternaria alternata*, *Curvularia* sp., *Mucor* sp., *Aspergillus niger*, and *Nigrospora* sp. in *Capsicum* genus seeds. However, ozone increased the incidence of *Chaetomium* sp. fungus in bell pepper and chili seeds.

Keywords: *Capsicum* sp.; Seed Quality; Ozonization; Seed treatment.

3.1 Introdução

O gênero *Capsicum* abarca as variedades de pimentas e pimentões, todos pertencentes à família Solanaceae. Esse gênero é notável por sua considerável diversidade genética, contando com um total de 38 espécies catalogadas. No entanto, somente cinco delas foram domesticadas e são amplamente cultivadas, a saber: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. frutescens* e *C. chinense* (BIANCHI *et al.*, 2016; MOREIRA *et al.*, 2018; JACQZAMLJEN; ZUPANC; SLATNAR, 2020; CANSIAN-JUNIOR, 2021).

O gênero *Capsicum* engloba diversas variedades de pimentas e pimentões originárias das Américas, sendo especialmente apreciadas no México por milênios. Hoje em dia, essas pimentas são consumidas em todo o mundo e desempenham um papel fundamental na alimentação de cerca de um quarto da população global (BIANCHI *et al.*, 2016; CARUSO *et al.*, 2019; FABELA-MORÓN *et al.*, 2020).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2023), os dados mais recentes sobre a produção de pimentão e pimenta no Brasil, referentes a 2017, indicam que a produção total no país atingiu 79.371 toneladas. Embora seja possível cultivar ambas as culturas ao longo do ano, elas tendem a se desenvolver de forma mais eficaz em regiões com climas secos e amenos, desde que haja irrigação adequada. Além disso, é essencial que o solo apresente boa drenagem, uma vez que o excesso de umidade pode resultar no apodrecimento das raízes.

A associação de patógenos às sementes é de extrema relevância econômica, causando perdas significativas em diversos cultivos. Os fungos, em particular, são os principais agentes causadores de doenças que resultam em problemas como podridão, aborto, deformações e diminuição do tamanho das sementes, afetando a viabilidade e o vigor das sementes, o que, por sua vez, tem impactos econômicos consideráveis (VIEIRA, 2018).

A produção de sementes do gênero *Capsicum* sp. é um desafio na agricultura brasileira devido à complexidade da gestão dessa cultura. Portanto, é essencial realizar pesquisas para a sanitização e controle de patógenos nas sementes de pimentão, visando garantir a qualidade e reduzir a dependência de agroquímicos. Tradicionalmente, o controle de patógenos em sementes envolve o uso de produtos

químicos, resultando em altos custos e preocupações ambientais e de segurança. Restrições regulatórias limitam o uso de fungicidas devido às preocupações ambientais. Isso levou a uma redução na diversidade de fungicidas disponíveis e ao aumento da resistência dos organismos alvo a esses compostos (PANDISELVAM *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2021).

O ozônio tem sido amplamente avaliado e utilizado em várias aplicações, incluindo conservação e prolongamento da vida útil de frutas, vegetais, bem como na redução de patógenos. Este potente agente oxidante demonstrou eficácia no combate a microrganismos que causam deterioração e contaminação. (VLASSI *et al.*, 2018; KAUR *et al.*, 2022; PANDISELVAM *et al.*, 2022; PREMJI, SRUTHI, PANDISELVAM, & KOTHAKOTA, 2022;).

Embora o ozônio seja reconhecido por suas vantagens sobre métodos tradicionais de preservação de alimentos e seu amplo espectro antimicrobiano no controle de fungos, bactérias e protozoários (SILVA *et al.*, 2019; SIMPLÍCIO *et al.*, 2020; UZOMA, 2024), seu impacto exato nas sementes ainda não está totalmente compreendido. Portanto, há uma necessidade crescente de avaliações que abordem seus efeitos na qualidade fisiológica e sanitária das sementes.

Diante do exposto, da grande importância econômica, no alto valor agregado em sementes híbridas de pimentão e pimenta, assim como suas adversidades que dificultam a produção de sementes, o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade sanitária e fisiológica das sementes do gênero *Capsicum* sp. (pimentão e pimenta) sob a influência do uso do gás ozônio.

3.2 Materiais e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático de Análise de Sementes “Prof. Flávio Farias da Rocha” do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Laboratório de Agrotecnologia, no Laboratório de Águas e Efluentes e no Laboratório de Sanidade de Sementes, todos pertencentes à Universidade Federal de Pelotas, no período de setembro de 2021 a maio de 2023. Foram utilizados quatro lotes de sementes do gênero *Capsicum* sp.: três cultivares de pimentão: Brasiliano, Inácio e Wallace, uma cultivar de pimenta: Maria Bonita, fornecidas pela empresa Feltrin Sementes Ltda.

3.2.1 Tratamento de sementes com ozônio

Inicialmente realizou-se uma avaliação inicial para determinar a viabilidade das sementes através da determinação do teor de água e germinação:

Teor de água das sementes - determinado pelo método padrão de estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2009).

Teste de germinação – foram utilizadas 50 sementes por repetição, totalizando em 200 sementes por tratamento. As sementes foram semeadas em duas folhas de papel mata-borrão, umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel e acondicionadas em caixas tipo gerbox. Colocadas em um germinador à temperatura de 20-30°C. As avaliações foram realizadas aos 14 dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

O tratamento das sementes foi realizado através da exposição das sementes ao gás ozônio, o qual é proveniente de um ozonizador da marca Panozon, modelo P+70, em diferentes tempos: 0 (controle), 30, 60, 90, 120 e 150 minutos, em amostras de 600 sementes, com quatro repetições em cada tempo, isto é, subamostras de 160 sementes.

Posteriormente ao tratamento, as doses aplicadas através de diferentes tempos de exposição, foram mensuradas através do método iodométrico descrito por Hoss (2020).

Através disso as doses aplicadas estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Dose de ozônio aplicada (mgO₃) em cultivares de sementes do gênero *Capsicum* sp., sob diferentes tempos de exposição.

Cultivar	Tempo de ozonização (min)	Dose aplicada (mg O ₃)
Brasiliano	30	114,81
	60	230,27
	90	347,03
	120	462,70
	150	576,86
Inácio	30	115,46
	60	224,43
	90	336,22
	120	436,11
	150	536,43
Wallace	30	104,65
	60	212,54
	90	321,73
	120	434,38
	150	539,03
Maria Bonita	30	108,97
	60	216,22
	90	326,05
	120	431,78
	150	537,73

Após receberem o tratamento foram realizados os seguintes testes:

Teste de germinação – conforme descrito anteriormente, seguindo as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

Primeira contagem de germinação - será realizada em conjunto com o teste de germinação com avaliação no sétimo dia após a semeadura, com os resultados expressos em porcentagem, conforme (BRASIL, 2009).

Emergência em areia - o teste de emergência foi realizado em bandejas de plástico com camadas de 10 cm de areia, a fim de simular as condições do ambiente de semeadura em campo, onde foram semeadas 50 sementes de cada repetição, totalizando 200 sementes por tratamento. A avaliação foi baseada na contagem final do total de plântulas emergidas por amostra, realizada 14 dias após a semeadura. O resultado final foi expresso em porcentagem de plântulas emergidas.

Comprimento de Plântulas – o teste foi realizado em caixas gerbox com duas folhas mata-borrão, onde as sementes foram distribuídas horizontalmente no topo do papel, posicionadas em um ângulo de 45° dentro dos germinadores, com 10

sementes em cada repetição, totalizando 40 sementes por tratamento. Aos 14 dias foram avaliadas através do software Image J, com os resultados expressos em centímetros, conforme Krzyzanowski *et al.* (2020).

Índice de velocidade de germinação – o teste foi realizado a partir do teste de germinação, onde as sementes foram avaliadas diariamente no mesmo horário, durante 14 dias. Ao fim do teste calculou-se o índice de velocidade de germinação através da equação:

$$IVG = \sum \frac{Gi}{Ni}$$

Onde:

IVG = índice de velocidade de germinação;

G = número de plântulas normais computadas, $i = 1 \rightarrow 14$;

N = número de dias da semeadura, $i = 1 \rightarrow 14$.

Resultados expressos sem unidade dimensional, conforme Krzyzanowski *et al.* (2020).

Massa seca e fresca – o teste foi realizado a partir do teste de germinação e teste de comprimento, seguindo as especificações para a cultura, segundo Brasil (2009). Foram coletadas 10 plântulas normais de forma aleatória, com o auxílio de uma lâmina de barbear serão retirados os cotilédones e descartados. Posteriormente colocados em recipientes de alumínio previamente tarados e identificados, pesados para obtenção da massa fresca, em seguida postos em estufa termoelétrica regulada a 80 °C, durante 24 horas. Após esse período, as amostras foram colocadas em dessecador até a estabilização da temperatura, para posteriormente a pesagem e quantificação da massa seca. Os valores obtidos foram divididos pelo número de plântulas com resultados expressos em mg/plântula, conforme Krzyzanowski *et al.* (2020).

Alguns testes foram realizados em quantidade reduzida de sementes devido ao alto valor agregado às sementes de pimentão, porém ainda assim em conformidade com as metodologias utilizadas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, onde os resultados gerados pela caracterização das amostras foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e regressão simples, sendo selecionadas as equações que mais se adequam, através do software RBio. As cultivares foram avaliadas separadamente.

3.2.2 Teste de sanidade

Para detecção dos fungos nas sementes de pimentão e de pimenta, foi realizada avaliação da qualidade sanitária inicial das cultivares, previamente ao tratamento, através do método “*Blotter Test*”, utilizando 200 sementes, divididas em duas subamostras de 25 sementes para cada repetição de 50 sementes.

As sementes foram semeadas em caixas plásticas do tipo “gerbox”, previamente desinfestadas com álcool 70% e hipoclorito de sódio a 1%, contendo duas folhas de papel mata-borrão esterilizado, sendo umedecidas com água destilada e esterilizada. Após esse processo, as sementes foram incubadas à 25°C, com fotoperíodo alternado (12 horas luz e 12 horas no escuro), durante sete dias (BRASIL, 2009). Posteriormente as sementes foram analisadas com o auxílio de microscópio estereoscópio e óptico para a observação das estruturas morfológicas dos fungos com auxílio de bibliografia especializada (BARNETT; HUNTER, 1972), determinando-se o percentual de sementes infestadas por patógenos.

Após o tratamento com gás ozônio, foi novamente realizada a análise sanitária, através do método “*Blotter Test*”, para avaliar a eficácia do uso do ozônio em sementes de pimentão e de pimenta na redução/eliminação de fungos.

3.3 Resultados e discussão

Primeiramente foi avaliada a qualidade inicial das sementes a partir dos testes descritos, portanto identificada a viabilidade das sementes para condução do estudo (Tabela 4):

Tabela 4. Características iniciais de sementes de diferentes cultivares de pimentão e pimenta.

Cultivar	Teor de água (%)	Germinação (%)
Brasiliano	8,7	98
Inácio	8,8	92
Maria Bonita	9,7	82
Wallace	8,5	80

Com exceção da cultivar Wallace, as outras três cultivares apresentaram diferença estatística significativa com relação ao Teste de Primeira Contagem de Germinação (Figuras 6, 7 e 8). As cultivares Brasiliano e Inácio obtiveram melhor desempenho nas amostras sem tratamento, isto é, maior número de sementes

germinadas aos sete dias de avaliação, e pior desempenho em maiores tempos de exposição ao ozônio.

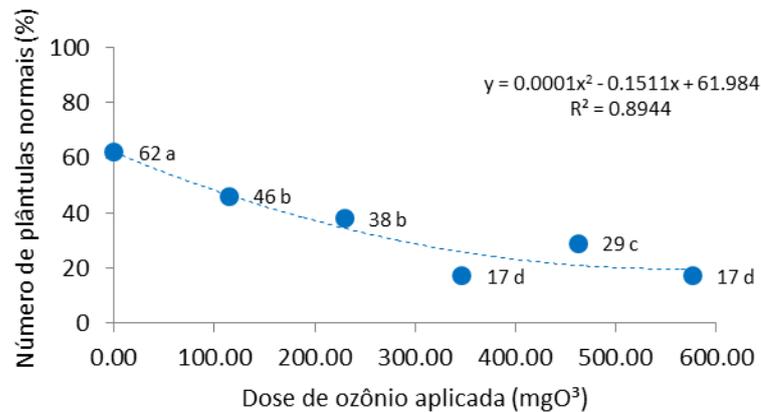


Figura 6 – Porcentagens (%) de sementes germinadas na Primeira Contagem de Germinação de sementes da cultivar Brasiliano, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

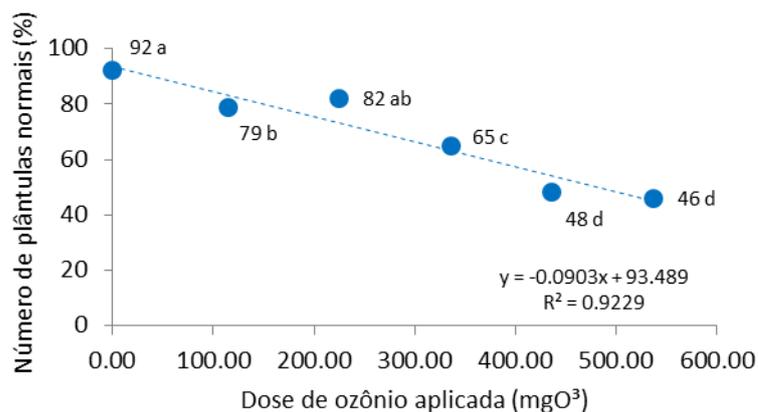


Figura 7 – Porcentagens (%) de sementes germinadas na Primeira Contagem de Germinação de sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

Para a cultivar Maria Bonita, pequenos tempos de exposição ao ozônio podem ser considerados benéficos às sementes, onde as amostras que obtiveram melhor desempenho foram expostas durante 30 e 60 minutos, com doses finais de 108,97 e 216,22 mgO³, respectivamente.. A cultivar Wallace não apresentou nenhuma semente germinada aos sete dias de avaliação em ambas as doses do gás. Estudos avaliando uma possível dormência causada pelo ozônio devem ser realizados, visto que há a possibilidade no gênero *Capsicum* (Nascimento, 2022).

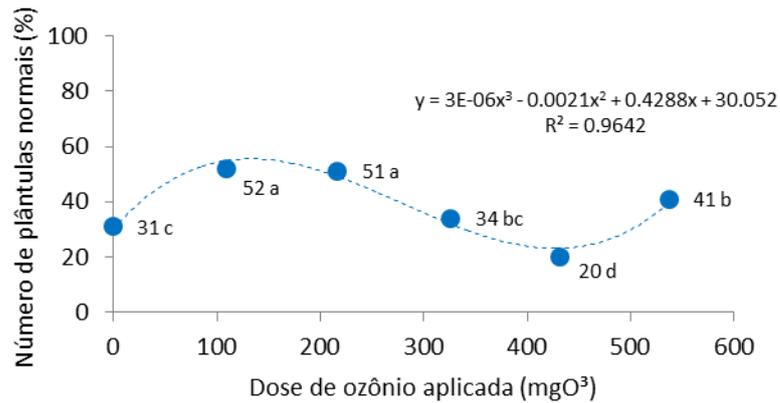


Figura 8 – Porcentagens (%) de sementes germinadas na Primeira Contagem de Germinação de sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

Segundo Rodrigues *et al* (2021), dentre diversos testes realizados com sementes de pimentão sob a aplicação de ozônio, apenas o teste de primeira contagem apresentou diferenças estatísticas significativas, onde a interação entre o tempo de exposição foi inversamente proporcional ao número de sementes germinadas no teste.

Diferentemente ao teste de primeira contagem, no teste de germinação, a cultivar que apresentou diferenças expressivas foi a Wallace (Figura 9), onde a taxa de germinação decresceu em função do aumento do tempo de exposição ao ozônio. A menor porcentagem de germinação se deu no tempo de exposição de 150 minutos, 28%, resultado bem expressivo quando comparado à amostra sem tratamento, que obteve 75% de plântulas normais. Ressalta-se o aumento no número de sementes duras/dormentes avaliadas no teste de germinação, onde a partir dos 90 minutos de exposição foram superiores a 36%.

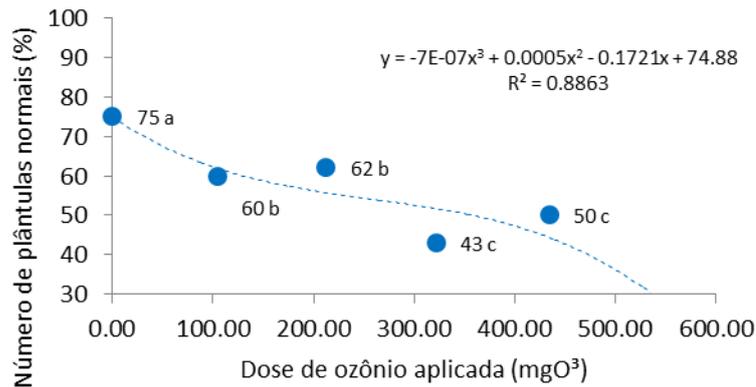


Figura 9 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

A cultivar Maria Bonita, seguiu a mesma linha de tendência de redução conforme maiores doses de ozônio, o que indica um efeito tóxico do gás sobre as sementes (Figura 10).

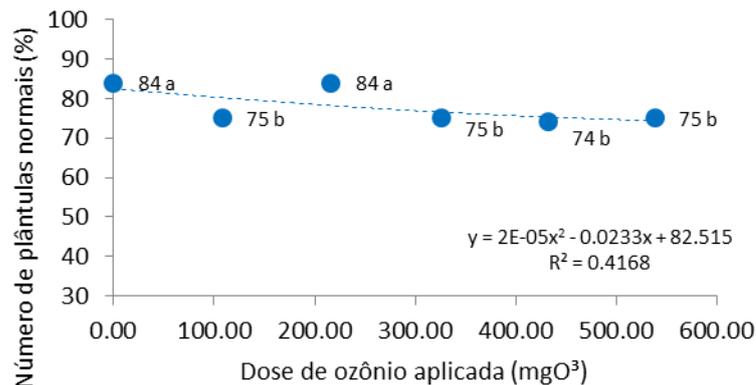


Figura 10 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

As outras cultivares não apresentaram diferenças significativas no teste de germinação com relação aos diferentes tratamentos, o que indica que o ozônio não afetou a viabilidade dessas sementes e portanto, não houve fitotoxidez (Figuras 11 e 12).

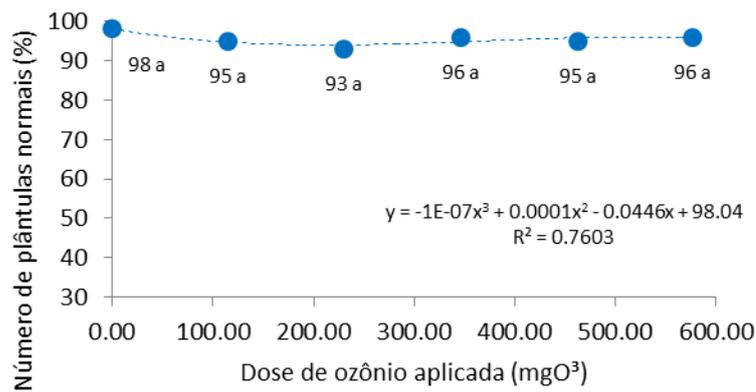


Figura 11 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

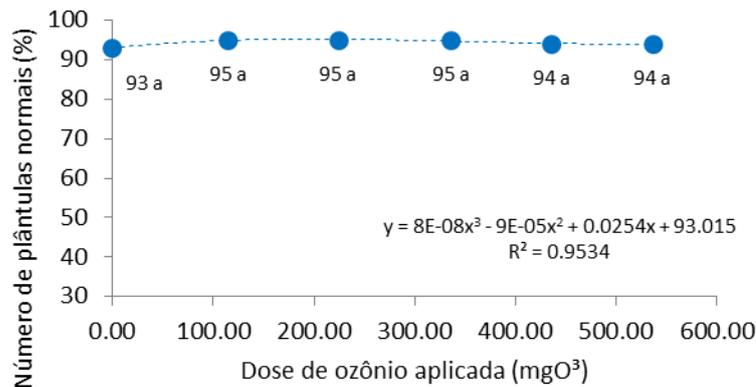


Figura 12 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Germinação de sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

Barbara & Ballaris (2021) trataram sementes de milho, sorgo e feijão com gás ozônio, com exposição por 30 minutos e observaram um ganho na porcentagem de germinação em relação à testemunha.

Ao avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho sob o efeito do ozônio, Normov *et al.* (2019) observaram que elevando a concentração de ozônio, a germinação tende a reduzir e as plântulas apresentaram as pontas pretas (queimadas), sugerindo que o ozônio através das suas propriedades oxidativas, iniciaram o processo de degradação das estruturas das células.

Na avaliação da velocidade de germinação das sementes todas expressaram diferenças significativas. A resposta foi semelhante às quatro cultivares, apresentaram efeito negativo do ozônio conforme o aumento da dose. As maiores velocidades se deram a partir das amostras sem tratamento, isto é, sem exposição

ao ozônio, e as mais baixas nas maiores doses de ozônio, a partir de aproximadamente 320 mgO³ (Figuras 13, 14, 15 e 16).

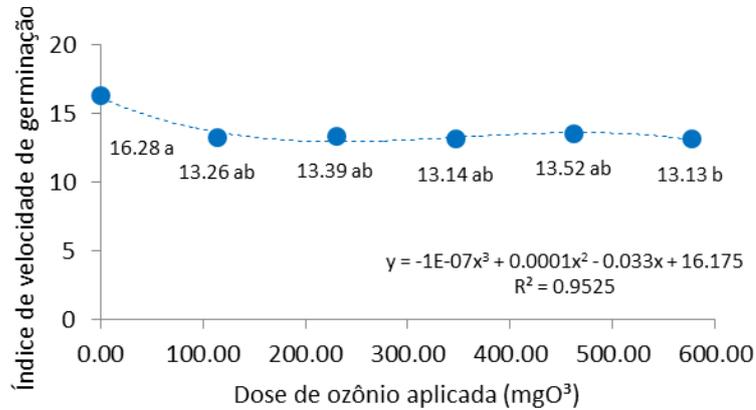


Figura 13 – Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Brasiliano, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

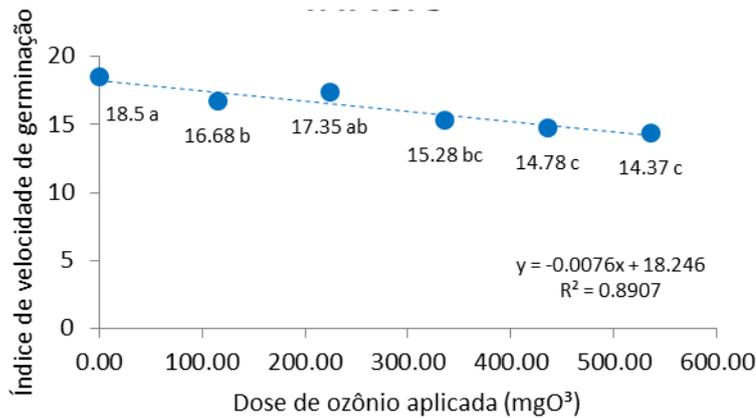


Figura 14 – Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

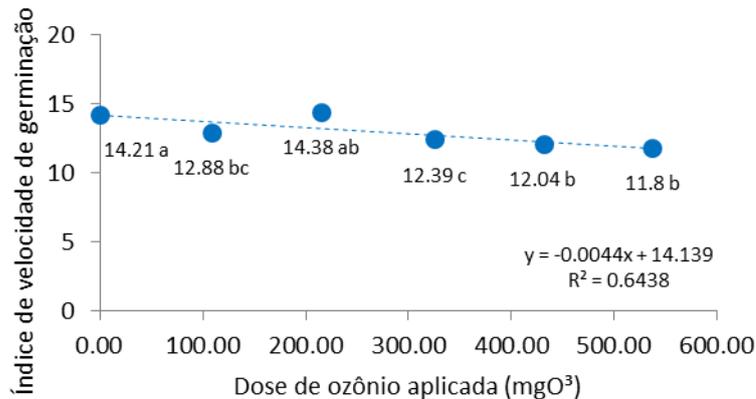


Figura 15 – Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

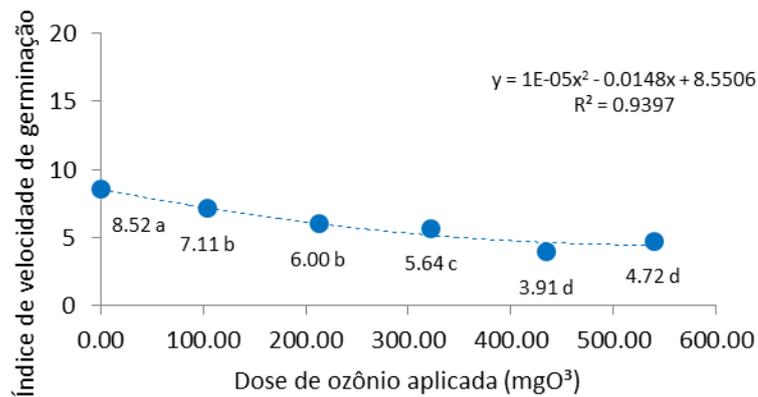


Figura 16 – Índice de velocidade de germinação das sementes da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.
Fonte: Autora, 2023.

Mecenas *et al* (2021), ao avaliar o efeito da aplicação de ozônio em sementes de sorgo, não encontrou influência do gás na velocidade de germinação. Resultado contrário ao encontrado no presente estudo, isso pode ser dar devido as diferenças na morfologia e fisiologia das sementes, onde nas sementes do gênero *Capsicum*, o ozônio teve um efeito de redução nesse índice.

Para Lazukin (2018), analisando o efeito do uso de ozônio através de ar úmido e oxigênio seco em sementes de trigo, concluiu que o gás trouxe alterações significativas nas características morfológicas das plântulas, porém não alterou a capacidade germinativa dessas sementes.

Ao avaliar a velocidade da germinação ao longo dos 14 dias do teste de germinação, pode-se notar que as diferentes doses de ozônio, reduziram a velocidade, mas não a porcentagem de germinação ao fim da avaliação, para as cultivares Inácio, Maria Bonita e Brasileiro (Figuras 17A, 17B e 17D).

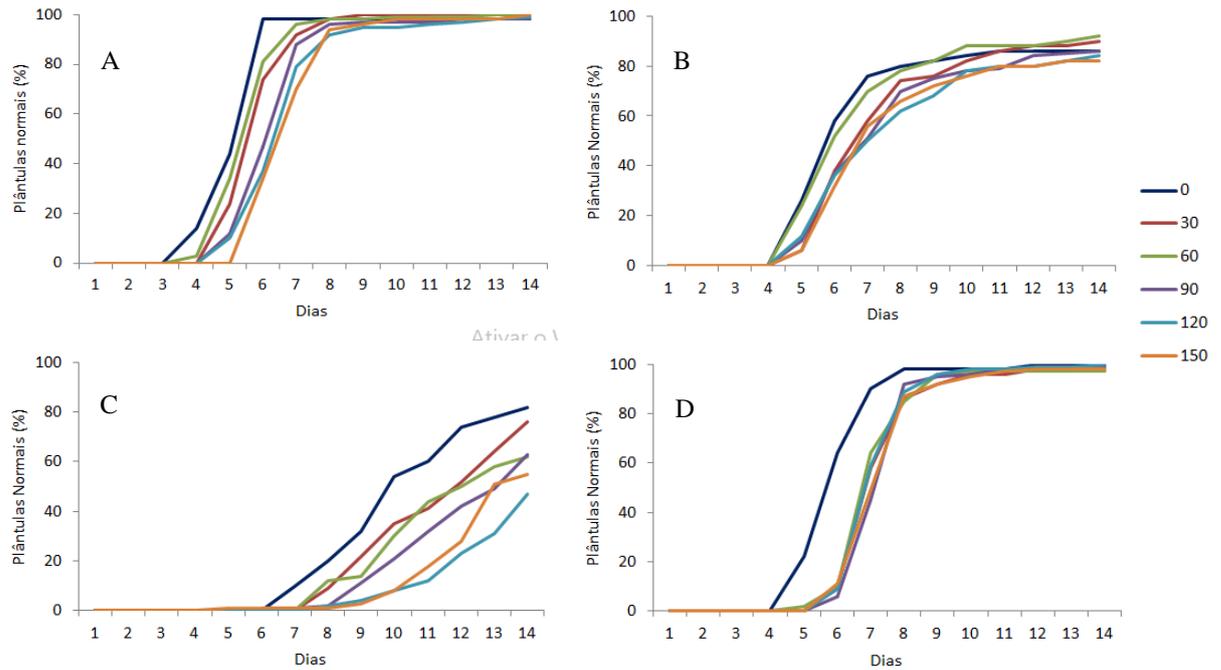


Figura 17 – Velocidade de germinação das sementes de pimentão e pimenta, das cultivares Inácio (A), Maria Bonita (B), Wallace (C) e Brasileiro (D) em função dos diferentes tempos de ozonização (minutos), ao longo dos 14 dias do teste de germinação.

Fonte: Autora, 2023.

Todavia, ao avaliar a cultivar Wallace (Figura 17C), notou-se que a mesma não atingiu uma velocidade de germinação, semelhante às outras cultivares, onde este índice influenciou os resultados encontrados nos testes de germinação.

Comparando os resultados dos comprimentos identificados através da análise de variância (ANOVA), pode-se notar que as cultivares, com exceção da Wallace, ambas apresentaram comportamento semelhante e sem diferenciação estatística (Figuras 18, 19 e 20).

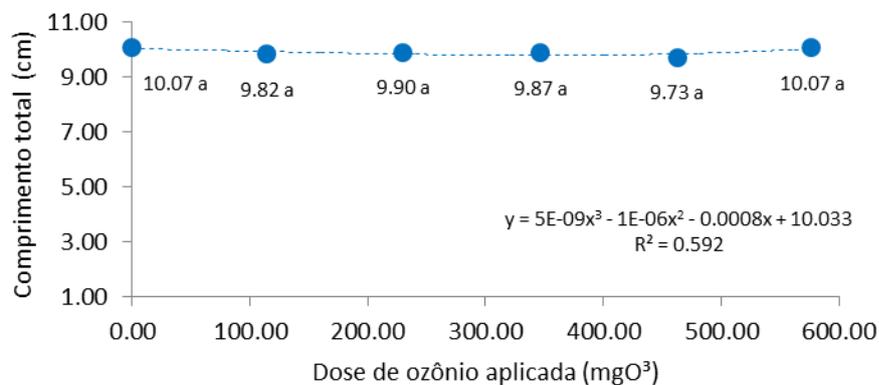


Figura 18 – Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

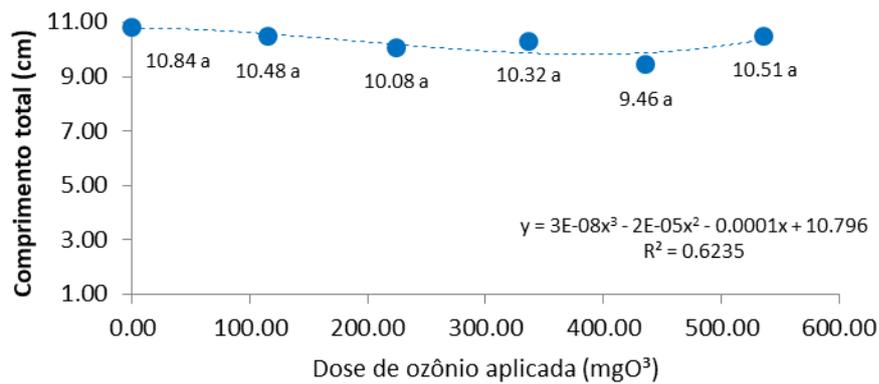


Figura 19 – Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

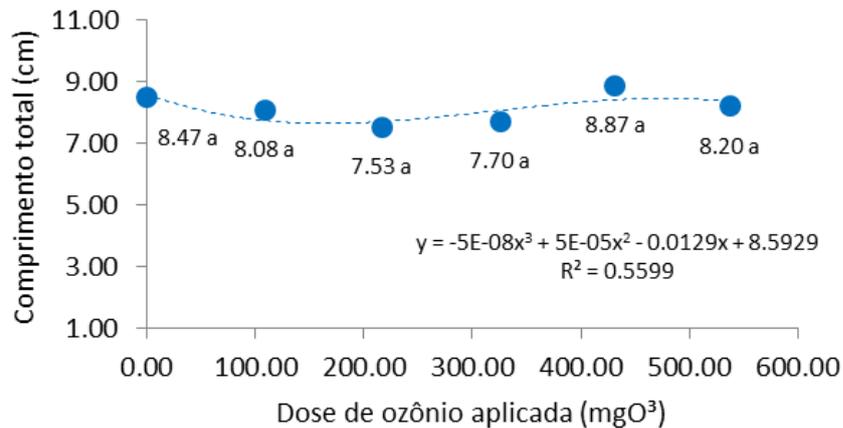


Figura 20 – Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

Como mencionado, a cultivar Wallace foi a única a apresentar diferença no comportamento na avaliação do comprimento das plântulas em resposta ao efeito do ozônio. Doses maiores resultaram em baixo desempenho, principalmente na dose de 539.03 mgO³, correspondente aos 150 minutos de exposição (Figura 21).

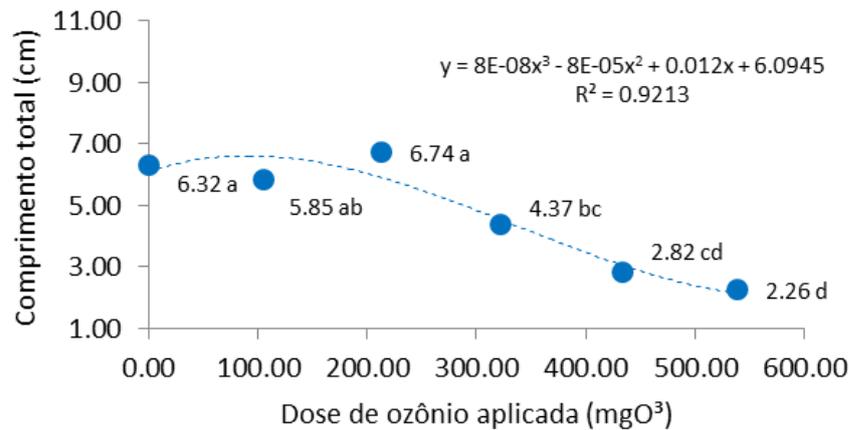


Figura 21 – Comprimento total de plântulas de pimentão da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

Segundo Melo (2023), ao avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão sob o uso de diferentes doses do gás ozônio, pode apontar que doses de 30 minutos resultam em incremento no comprimento das plântulas de feijão.

Analogamente ao feijão, resultados positivos foram encontrados no milho sob influência do ozônio, como aumento do percentual de germinação e do comprimento de plântulas e redução da condutividade elétrica (MAXIMIANO *et al.*, 2018; MONTEIRO *et al.*, 2021; ROSA *et al.*, 2021). Souza *et al.* (2020) encontraram resultados semelhantes para sementes de lentilha.

No que se refere à massa seca e fresca, nenhuma cultivar apresentou diferença significativa, indicando que o ozônio não barrou o desenvolvimento das sementes para a produção de massa.

Para avaliar a viabilidade e qualidade fisiológica das sementes utilizou-se a análise de emergência em areia, que visa expor as sementes em condições mais próximas de campo. No teste, para todas as cultivares houve diferença estatística e apresentaram comportamento distinto.

As cultivares Brasileiro e Inácio se comportaram de forma análoga. Nas amostras que foram expostas à doses de 114.81 e 115.46 mgO³, respectivamente, houve uma pequena suba no percentual de germinação, isto é, essa dose trouxe um efeito benéfico às sementes (Figura 22 e 23). As cultivares Maria Bonita e Wallace apresentaram maior sensibilidade ao efeito do gás, onde as amostras com maior desempenho não foram expostas ao ozônio (Figuras 24 e 25). Para a cultivar

Wallace, a porcentagem de germinação foi inversamente proporcional à dose de ozônio. Para a cultivar Maria Bonita, dentre as diferentes doses de ozônio, a amostra que apresentou menor porcentagem de sementes germinadas foi a de 537.73 mgO³, 49%.

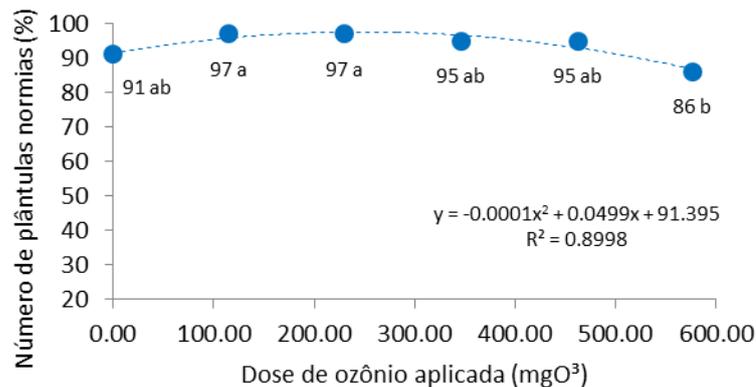


Figura 22 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Brasileiro, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

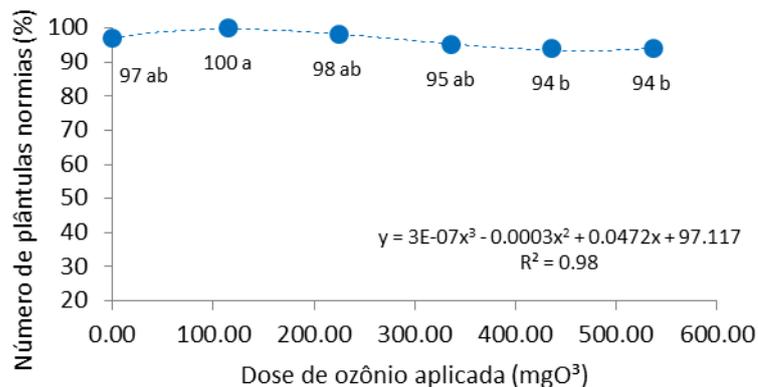


Figura 23 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Inácio, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

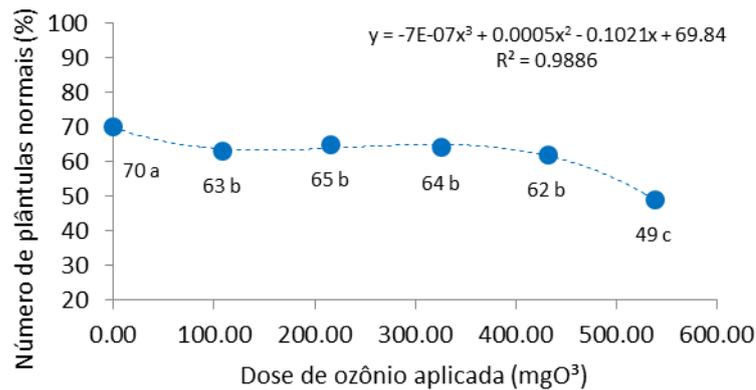


Figura 24 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Maria Bonita, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

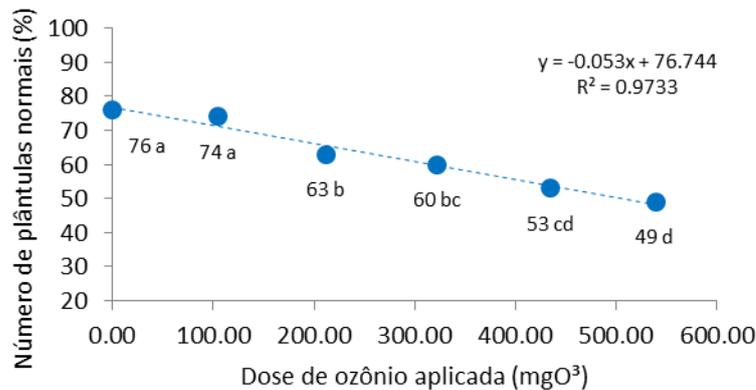


Figura 25 – Porcentagens (%) de sementes germinadas no teste de Emergência em areia de sementes da cultivar Wallace, sob a influência de diferentes doses de ozônio.

Fonte: Autora, 2023.

Rodrigues *et al.* (2021), ao realizar avaliações em sementes de pimentão, não identificou diferenças estatísticas significativas quanto ao efeito do ozônio utilizado para o tratamento.

Barbara & Ballaris (2021) ao avaliar o efeito do ozônio em sementes de milho, sorgo e feijão, não identificou diferenças estatísticas no teste de emergência em areia para ambas as culturas. De forma análoga, Melo (2023), ao analisar sementes de feijão ozonizadas, também não identificou diferença significativa. Esta resposta das cultivares Brasiliano e Inácio podem estar ligadas a redução fúngica ou a uma superação de dormência nesses lotes.

Na Tabela 5 encontram-se os resultados encontrados para avaliar a sanidade, através do “*Blotter test*”. Nas amostras sem tratamento foram identificados os seguintes fungos: *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Bipolaris sp.*, *Chaetomium*

sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Epicoccum*, *Mucor* sp., *Nigrospora* sp, *Penicillium* sp. e *Rhizopus* sp, onde as cultivares apresentaram-se de forma semelhante em relação aos tempos de exposição ao ozônio e incidência dos fungos.

A respeito dos fungos encontrados, majoritariamente são fungos saprófitos e parasitas fracos, isto é, fungos oportunistas, onde utilizarão as sementes como hospedeiras, causando reduções tanto qualitativas como quantitativas, podendo gerar danos como aborto de sementes, redução do tamanho das sementes, podridão e necroses, descoloração e conseqüentemente redução da viabilidade. Esses fungos podem ser encontrados no ar, no solo, na água e até em animais, devido a isso são chamados fungos de campo. Além dos fungos de campo, foram identificados também os chamados fungos de armazenamento, onde os principais são as espécies de *Aspergillus* e *Penicillium*, os quais podem causar danos nas sementes como: perda da germinação, alteração na coloração, aumento da taxa de ácidos graxos, aquecimento da massa de sementes e produção de micotoxinas (LUCCA & FARIAS, 2019).

Dentre os fungos identificados no presente estudo, todos já foram identificados outras vezes em sementes de pimentão, segundo o banco de dados de fungos relatados em plantas no Brasil (MENDES & URBEN, 2023), com exceção dos fungos *Mucor* sp., *Nigrospora* sp. e *Curvularia* sp. Tendo em vista o histórico desses fungos ainda não serem encontrados em sementes de do gênero *Capsicum* sp., acredita-se que a presença dos mesmos se deu através de contaminação, seja no beneficiamento e no transporte das sementes ou até mesmo por manipulação dentro do laboratório.

Tabela 5 – Incidência (%) de fungos em sementes de pimenta e pimentão sob diferentes doses de ozônio (mgO³).

Brasiliano								
	<i>Rhizopus</i>	<i>Cladosporium.</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Alternaria alternata</i>
0	2.00	18.50	4.00	0.50	1.00	1.00	0.50	15.00
114,81	1.00	0.00	3.50	0.50	1.50	1.50	0.00	0.00
230,27	0.00	0.00	3.50	0.50	2.50	0.00	0.50	1.00
347,03	0.00	0.50	3.50	0.00	6.00	1.00	0.00	0.00
462,70	0.00	0.50	2.00	0.00	6.00	0.50	0.00	0.00
576,86	0.00	0.00	1.50	0.00	6.00	0.50	0.00	0.00
Inácio								
	<i>Rhizopus</i>	<i>Cladosporium.</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Alternaria alternata</i>
0	6.00	81.50	8.50	1.00	0.00	1.00	0.50	7.00
115,46	0.50	0.00	2.50	0.50	1.50	0.00	0.00	0.50
224,43	0.00	0.50	3.00	0.50	2.00	0.00	0.00	0.00
336,22	0.00	0.50	2.50	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
436,11	0.00	0.00	1.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00
536,43	0.00	0.00	1.00	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00
Wallace								
	<i>Rhizopus</i>	<i>Cladosporium.</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Alternaria alternata</i>
0	16.00	5.50	10.50	2.50	12.50	2.00	2.00	0.50
104,65	0.00	5.00	10.00	2.50	14.00	1.00	0.50	0.00
212,54	0.00	1.50	5.50	1.00	17.50	1.50	0.50	0.00
321,73	0.00	0.00	4.50	1.00	24.00	0.00	0.00	0.00
434,38	0.00	0.00	4.00	0.50	29.00	0.50	0.00	0.00
539,03	0.00	0.00	2.50	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00
Maria Bonita								
	<i>Rhizopus</i>	<i>Cladosporium.</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Alternaria alternata</i>
0	3.50	2.50	4.50	2.00	0.00	1.00	2.00	1.50
108,97	3.00	1.00	3.50	1.50	0.50	0.00	0.00	0.00
216,22	1.50	1.00	3.50	1.50	4.50	0.50	0.00	0.50
326,05	0.00	0.00	2.00	0.50	5.00	0.00	0.50	0.00
431,78	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
537,73	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Com relação aos fungos *Rhizopus* sp. e *Alternaria alternata*, houve redução da incidência com o aumento das doses de ozônio, onde doses acima de 300 mgO³ foram suficientes para eliminar a presença destes nas quatro cultivares.

Para os fungos *Curvularia* sp., *Epicoccum* sp. e *Mucor* sp., através dos resultados, pode-se notar que doses reduzidas de ozônio, são capazes de eliminar a incidência dos mesmos. Para os fungos *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. e *Bipolaris* sp. houve redução da incidência conforme o aumento das doses de ozônio, onde foram eliminados em doses superiores a 400 mgO³.

Para os fungos *Aspergillus niger* e *Nigrospora* sp., após a ozonização houve redução na incidência dos mesmos, porém em nenhuma amostra os fungos foram eliminados por completo.

O *Chaetomium* sp. apresentou um comportamento oposto aos demais fungos, principalmente nas cultivares de pimentão, onde sua incidência foi proporcional às doses de ozônio, isto é, conforme o aumento das doses de ozônio, houve aumento na incidência do fungo. Uma hipótese é que devido ao poder oxidativo do ozônio, o mesmo deixou a semente mais sensível à agentes externos, facilitando o acesso do fungo ao interior da semente, além de essas doses não serem suficientes para causarem efeitos nesse gênero de fungo.

No geral, as doses de ozônio aplicadas foram capazes de reduzir ou eliminar a presença dos fungos identificados nas amostras das sementes de pimentão e pimenta.

Rodrigues (2021), identificou a incidência dos fungos *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. e *Colletotrichum* sp. em sementes de pimentão. A presença de outros fungos e ausência de alguns se dá devido à diferença na origem, transporte, local de armazenamento, dentre outros diversos fatores, entre o presente estudo e o realizado por Rodrigues. Ainda, concluiu que o uso do gás ozônio foi eficiente na redução e controle dos fungos identificados.

Segundo Maximiano (2018), ao avaliar a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho após tratamento com água ozonizada, concluiu que a exposição das sementes à água com concentração de ozônio de até 30mg.L⁻¹ por até 120 minutos não foi eficiente para controlar o fungo *Fusarium* sp.

Machado (2022), avaliando o efeito do ozônio em sementes de amendoim de três diferentes cultivares, concluiu que expor as sementes na concentração de $600\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}$ por até 16 horas de ozônio não foi suficiente para controlar a ação dos fungos, com exceção do fungo *Rhizopus* sp., que em cada cultivar apresentou um comportamento diferente após 8 horas de tratamento, variando entre aumento, redução ou sem mudança.

Para Uzoma (2024), o ozônio foi eficaz no controle de *Aspergillus flavus* e *Sitophilus zeamais*, quando empregado na secagem do milho em baixa temperatura, e quando são adotadas vazões específicas entre $0,5$ e $1,05\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}\text{t}^{-1}$.

3.4 Conclusão

Através do estudo proposto, é possível concluir que a utilização do gás ozônio no tratamento de sementes de pimentão e pimenta pode afetar a qualidade fisiológica, principalmente na redução da velocidade de germinação e primeira contagem.

O gás ozônio, na dose aplicada em média de 530 mgO_3 , correspondente a 150 minutos de exposição ao gás nas condições estudadas, foi eficiente no controle dos fungos *Rhizopus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Nigrospora* sp., *Epicoccum* sp., *Bipolaris* sp., *Alternaria alternata*, *Curvularia* sp., *Mucor* sp., *Aspergillus niger* e *Nigrospora* sp. em sementes do gênero *Capsicum*.

O ozônio elevou a incidência do fungo *Chaetomium* sp. em sementes de pimentão e pimenta.

4 Considerações finais

Sugere-se para pesquisas futuras:

- Explorar a aplicação de ozônio em sementes em menores tempos de exposição, porém em bateladas, visando a alta eficiência do processo;
- Avaliar o efeito do ozônio como causador de dormência em sementes de pimentão;
- Avaliar a influência de diferentes temperaturas no comportamento do gás sobre as sementes;
- Analisar o que motivou o comportamento distinto do fungo *Chaetomium* sp. nas sementes do gênero *Capsicum* sp.;
- Avaliar alterações bioquímicas nas sementes pós-tratamento com ozônio.

5 Referências bibliográficas

ABREU, A.O.; FARONI, L.R.A.; SILVA, M.V.A.; SOUZA, A.H.; ALENCAR, E.R.; SILVA, G.N. Ozone as an alternative fumigant for controlling *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) in cowpea beans. **Journal of Storage Products Research**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101969>

BARBARA, G.; BALLARIS, A.L.; A qualidade fisiológica de sementes de cereais submetidas a diferentes concentrações de ozônio. **Unifunec Científica Multidisciplinar**, 2021. ISSN: 2763-5783

BARNET, H. L.; HUNTER, B. B. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 3.ed. Minneapolis: Burgess, 1972. 241p.

BIANCHI, P. A. *et al.* Morphological characterization and analysis of genetic variability among pepper accessions. *Ciencia Rural*, v. 46, n. 7, p. 1151–1157, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Análise Sanitária de Sementes / Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009b. 200 p.

CANSIAN-JUNIOR, J.C.; RODRIGUES, V.A.P.; SOARES, I.F.G.; ALMEIDA, R.; MAURICIO, L.S.; PAULA, F.C.; NASCIMENTO, E.S.F.; ALMEIDA, R.N.; NASCIMENTO, L.C.; ZAMPIERI, F.G.; MENINI, L.; MOULIN, M.M. *Evaluation of the genetic diversity of Capsicum spp. based on morpho agronomic and bromatological descriptors*. *Revista Ifes Ciência*, v. 7, p. 01-11, 2021. DOI: [10.36524/ric.v7i1.1143](https://doi.org/10.36524/ric.v7i1.1143)

CARUSO, G., STOLERU, V. V., MUNTEANU, N. C., SELBITTO, V. M., TELIBAN, G. C., BURDUCEA, M., TENU, I., MORANO, G., BUTNAIRU, M. *Quality performances of sweet pepper under farming management*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2019; 47(2): 458-464. doi: <https://doi.org/10.15835/nbha47111351>

COATES, J.; MAR, K.A.; OJHA, N.; BUTLER, T.M. *The influence of temperature on ozone production under varying NO_x conditions – a modelling study*. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 2016. v.16. p. 11601-11615. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-16-11601-2016>

FABELA-MORÓN, M.F.; CUEVAS-BERNARDINO, J.C.; AYORA-TALAVERA, T.; PACHECO, N. *Trends in Capsaicinoids Extraction from Habanero Chili Pepper (Capsicum Chinense Jacq.): Recent Advanced Techniques*. **Food Reviews International**, 2020. v. 36, p. 105–134. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1630635>.

HOSS, L. **Ozonização convencional e catalítica como pré e pós tratamento de lixo de aterro**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 78p. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Dados históricos anuais. 2023. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: outubro de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola – lavoura permanente. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pesquisa/15/11863?tipo=cartograma&indicador=11864&ano=2020>. Acesso em 25 de fevereiro de 2023.

JACQZAMLJEN, T.; ZUPANC, V.; SLATNAR, A. *Influence of irrigation on yield and primary and secondary metabolites in two chilies species, Capsicum annum L. and Capsicum chinense*. *Agricultural Water Management*, v. 234, n. 2, p. 106104, 2020.

KAUR, K.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A.; ISHWARY, S.P.; ZALPOURI, R.; MAHANTI, N.K. *Impact of ozone treatment on food polyphenols – A comprehensive review*. **Food Control**, 2022. v.142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109207>

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; GOMES-JUNIOR, F.G.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: Conceitos e testes – ABRATES**, 2020. 601p.

LAZUKIN, A., SERDUKOV, Y., PINCHUK, M., STEPANOVA, O., KRIVOV, S., & LYUBUSHKINA, I. *Treatment of spring wheat seeds by ozone generated from humid air and dry oxygen*. **Research in Agricultural Engineering**, 2018. v. 64. p. 34-40. DOI: 10.17221/106/2016-era

LUCCA, O.A.F.; FARIAS, C.R.J. Patologia de sementes. In: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas: Editora Becker & Peske Ltda, 2019. 579p. 4. ed.

MACHADO, I. M. G. J.; INACIO, L. H.; SILVA, N. D. R.; GONÇALVES, F. J. T.; COSTA, D. S. Potencial fisiológico e sanidade de sementes de amendoim submetidas a ozonização. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 43, n. 2, p. 561–572, 2022. DOI: 10.5433/1679-0359.2022v43n2p561.

MAXIMIANO, C. V. *et al.* *Physiological and sanitary quality of maize seeds preconditioned in ozonated water*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 360-365, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p360-365>

MECENAS, C.J.; TAVEIRA, J.H.S.; CARVALHO, J.; RESENDE, O.; PAIVA, Y.B.; COSTA, L.M. Efeito da aplicação de ozônio na qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino armazenada por 8 meses. IV Congresso de ensino, pesquisa e extensão da UEG. Universidade estadual de Goiás. 2018.

MELO, Célia das Eiras Ludovina Dgedge. **Ozonização de sementes de feijão comum: qualidade fisiológica, atividade enzimática, desempenho em campo e detecção de alterações bioquímicas por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2023. 79f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023.

MENDES, M. A. S.; URBEN, A. F.; **Fungos relatados em plantas no Brasil, Laboratório de Quarentena Vegetal**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2023. Disponível em: <http://pragawall.cenargen.embrapa.br/aiqweb/michtml/fgbanco01.asp>. Acesso em: 9/9/2023.

MONTEIRO, N. O. C. *et al.* *Ozonized water in the preconditioning of corn seeds: physiological quality and field performance*. **Ozone: Science & Engineering**, v. 43, n. 5, p. 436-450, 2021. DOI: 10.1080/01919512.2020.1836472

MOREIRA, A. F. P. *et al.* *Genetic diversity, population structure and genetic parameters of fruit traits in Capsicum chinense*. *Scientia Horticulturae*, v. 236, p. 1–9, 2018.

NASCIMENTO, W.M. Embrapa Hortaliças – Sementes. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/sementes>>. Acesso em 05/08/2023.

NORMOV, D.; CHESNIUK, E.; SHEVCHENKO, A.; NORMOVA, T.; GOLDMAN, R.; POZHIDAEV, D.; BOHINC, T.; TRDAN, S. *Does ozone treatment of maize seeds influence their germination and growth energy?*. **Acta agriculturae Slovenica**, Ljubljana, SI, v. 114, n. 2, p. 251–258, 2019. DOI: 10.14720/aas.2019.114.2.10.

OLIVEIRA, J.M.; ALENCAR, E.R.; BLUM, L.E.B.; FERREIRA, W.F.S.; BOTELHO, S.C.C.; RACANICCI, A.M.; LEANDRO, E.S.; MENDONÇA, M.A.; MOSCON, E.S.; BIZERRA, L.V.A.S.; SILVA, C.R. *Ozonation os Brazil nuts: Decomposition kinetics, controlo f Aspergillus flavus and the effect on color and on raw oil quality*. **LWT – Food Science and Technology**, 2020. v.123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109106>

PANDISELVAM, R., V.P MAYOOKHA , A. KOTHAKOTA , L. SHARMILA , SV RAMESH , CP BHARAT HI , K. GOMATHY E V. SRIKANTH. *Impact of Ozone Treatment on Seed Germination-A Systematic Review*. **Ozônio: Ciência e Engenharia**, 2019. v.41, n.6, p.1 - 16 . <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1673697> .

PANDISELVAM, R.; SINGH, A.; AGRIOPOULOU, S.; SACHADYN-KRÓL, M.; ASLAM, R.; LIMA, C.M.G.; KHANASHYAM, A.C.; KOTHAKOTA, A.; ATAKAN, O.; KUMAR, M.; MATHANGHI, S.K.; KHANEGHAH, A.M. *A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in diferente food products. **Trends in Food Science & Technology**, 2022. v.127. p. 74-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.008>*

PREMJIT, Y.; SRUTHI, N.U.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A. *Aqueous ozone: Chemistry, physiochemical properties, microbial inactivation, factors influencing antimicrobial effectiveness and application in food. **Comprehensive Reviews in Food. Science and Food Safety**, 2022. v.21. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12886>*

RODRIGUES, V. O. Tratamento de sanitário de sementes de algodão, soja e pimentão com gás ozônio. Tese (Doutorado em Agronomia/ Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, p.103. 2018

RODRIGUES, V.O.; OLIVEIRA, A.M.S.; ROCHA, D.K.; KREPISCHI, L.S.; CARVALHO, M.V.; OLIVEIRA, J.A.; PIRES, R.M.O. *Ozone in health treatment and effect on the physiological and biochemical quality of pepper seeds - **Brazilian Journal of Development**, 2021. Curitiba, v.7, n.2, p. 14856-14871. DOI: 10.34117/bjdv7n2-216*

ROSA, C. C. *et al. Physiological Quality of Corn Seeds Treated with Gaseous Ozone. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, n. 1, p. 117-126, 2022. DOI: 10.1080/01919512.2021.1940836*

RUPPENTHAL, J.G. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de grão de bico expostas a diferentes doses de ozônio**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 45p. 2021.

SILVA, M.V.A.; FARONI, L.R.A.; SOUZA, A.H.; PRATES, L.H.F.; ABREU, A.O. *Kinetics of the ozone gas reaction in popcorn kernels. **Journal os Stored Products Research**, 2019. v83. p. 168-175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.06.014>*

SILVA, T. B.; VILAR, F. C. R.; COSTA, B. S.; PEREIRA, M. C.; GUEDES, A. L. V.; LIMA, G. A. B.; SOUZA, E. E. M.; EZEQUIEL, M. J.; SANTANA, A. C. Emergência de sementes de pimentão em função de diferentes substratos no nordeste brasileiro. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.8, n.2, p. 12999-13007, feb. 2022.

SIMPLICIO, I. B.O.; SOUZA, S.C.; THOMAZ, T.S.; LIMA, F.S.; BEZERRA, J.S. SOARES, R.S.; RIBEIRO, C.S. DA C.; RAGASSI, C.F.; DE CARVALHO, S.I.C.; MALDONADE, I.R.; FILHO, J.G. DA S.; BRAZ, L.T.; REIFSCHNEIDER, F.J.B. *New Brazilian lines of Habanero pepper (*Capsicum chinense*): Morpho-agronomic and biochemical 20 characterization in different environments.*

Scientia Horticulturae, 2020. v.261, p. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108941>.

SOUZA, P. R. F. *et al.* *Effect of ozone exposure on water uptake and germination of lentil (*Lens culinaris*) seeds.* **Ozone: Science & Engineering**, v. 43, n. 1, p. 48-59, 2020. DOI: 10.1080/01919512.2020.1754163

UZOMA, S.; ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.A.; SILVA, M.V.A.; SITEO, E.P.E.; PANDISELVAM, R.; MACHADO, S.G. *Association between low-temperature drying and ozonation process to control pests and preserve maize quality.* **Food control**, 2024. v. 156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110119>

VIEIRA, B. N. P.; SANTOS, B. R.; SOUSA, B. C. M.; VIEIRA, T. A.; LUSTOSA, D. C. *Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de pimentão comercializadas em Santarém, Pará.* *Agroecossistemas*, v.10, n.1, p. 241-252, 2018.

VLASSI, E.; VLACHOS, P.; KORAROS, M. *Effect of ozonation on table grapes preservation in cold storage.* **J Food Sci Technol**, 2018. 55(6), p. 2031–2038. DOI: 10.1007/s13197-018-3117-y