

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
CHRISTIANE DOS SANTOS SILVA

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE CAFÉ
ARÁBICA SUBMETIDAS À OZONIZAÇÃO

IVAIPORÃ
2023

CHRISTIANE DOS SANTOS SILVA

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE CAFÉ ARÁBICA
SUBMETIDAS À OZONIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Bacharelado em Engenharia
Agrônômica do Instituto Federal do Paraná,
como requisito parcial de avaliação

Orientador: Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

IVAIPORÃ

2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

Christiane dos Santos Silva

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDAS À OZONIZAÇÃO

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof.ª Dr.ª. Marcibela Stülp

Instituto Federal do Paraná



Prof.ª Dr.ª. Leticia Thaís Chendynski

Instituto Federal do Paraná

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.



Coordenação do Curso Engenharia Agrônômica

Prof.ª. Me. Laís Martinkoski

Siape: 1227192



Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

Orientador

Siape: 1400880

Ivaiporã, 2023

Dedico esse trabalho aos meus pais, Edes Venâncio da Silva e Edna Francisca dos Santos, minha avó, Maria das Dores Silva (*in memoriam*), pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que sempre está comigo. Agradeço à minha família: meu pai, Edes Venâncio da Silva, que desde o princípio compartilhou desse sonho comigo, e minha mãe, Edna Francisca dos Santos, por estar presente em todos os momentos. Agradeço também às minhas irmãs, Fernanda Almeida dos Santos e Maria Eduarda dos Santos da Silva, e, por fim, minha avó Maria das Dores Silva (*in memoriam*), que me ensinou a amar e cuidar da natureza.

Expresso minha imensa gratidão ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Denis Costa, pela dedicação e paciência e por todos os ensinamentos transmitidos. Agradeço aos meus amigos que sempre estão ao meu lado e colaboraram com a elaboração do meu trabalho. Também agradeço aos técnicos de laboratório do Instituto Federal do Paraná, campus Ivaiporã-PR, em especial a Thais Fernanda Monteiro e Roberto França, pela dedicação e tempo disponibilizado.

Sou grata aos professores do curso, que contribuíram para minha formação, e aos técnicos da Sepae. Agradeço aos colegas de turma pelos anos vividos juntos e a todos que, de alguma forma, direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

"A agricultura já não é uma profissão, mas uma paixão pela natureza, pela verdadeira, pelo nascer, crescer, florir e madurar."

Ana Primavesi

RESUMO

O Brasil se destaca como o maior produtor de grãos verdes, especialmente da espécie *Coffea arabica*, devido ao seu sabor adocicado. A multiplicação da planta ocorre através de sementes de qualidade, que levam cerca de 15 a 30 dias para iniciar a germinação sob condições ideais de temperatura, umidade e oxigênio. A lentidão nesse processo se deve às mananas, principais reservas das sementes de café, pertencentes a um grupo de carboidratos chamados hemiceluloses. Essas substâncias exigem enzimas altamente específicas para serem digeridas, tornando a germinação lenta. Isso pode resultar em atrasos na emergência da planta, contato prolongado com microrganismos do solo e desuniformidade no crescimento das mudas no viveiro, prejudicando a produção comercial. O uso de ozônio na agricultura oferece uma solução sustentável para acelerar a germinação das sementes e promover uniformidade no desenvolvimento das mudas. O gás ozônio apresenta elevado potencial de oxidação que pode acelerar e uniformizar a germinação de sementes de café, sendo uma alternativa de baixo custo ao produtor para o tratamento de sementes. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia da aplicação do gás ozônio em diferentes tempos de exposição, quanto aos aspectos da germinação e formação de mudas. O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes e Plantas Daninhas e na Casa de Vegetação do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, Campus Ivaiporã no ano de 2022, as sementes utilizadas foram de café do cultivar IPR 108 obtidas através de doação do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado na análise de germinação em laboratório e a nível de campo foi utilizado o delineamento de blocos inteiramente casualizados, divididos em sete tratamentos com quatro repetições, sendo os tratamentos descritos de forma que T1 testemunha; T2 tratamento com o ozônio por 1 hora; T3 tratamento com o ozônio por 2 horas; T4 tratamento com o ozônio por 4 horas; T5 tratamento com oxigênio por 1 hora; T6 tratamento com o oxigênio por 2 horas; T7 tratamento com oxigênio por 4 horas. O presente estudo analisou o impacto do processo de ozonização em sementes de café e seu efeito na germinação e no desenvolvimento das plântulas. Os resultados indicam que a ozonização não teve efeito significativo na maioria das variáveis analisadas, exceto na velocidade de emergência. Além disso, a ozonização mostrou efeitos benéficos em algumas variáveis, como aumento no número de plântulas normais fortes e expansão da parte aérea das plântulas. No entanto, a emergência em tubetes foi reduzida após a ozonização. Esses resultados podem ser úteis para orientar futuras pesquisas e aperfeiçoar técnicas de produção de mudas de café.

Palavras-chave: *Ozônio. Coffea. Plântulas. Desenvolvimento. Índice de velocidade de emergência.*

ABSTRACT

Brazil stands out as the largest producer of green beans, especially of the *Coffea arabica* species, due to their sweet taste. Plant multiplication occurs through quality seeds, which take about 15 to 30 days to start germinating under ideal conditions of temperature, humidity, and oxygen. The slowness in this process is due to mannans, the main reserves of coffee seeds, belonging to a group of carbohydrates called hemicelluloses. These substances require highly specific enzymes to be digested, slowing germination. This can result in delays in plant emergence, prolonged contact with soil microorganisms, and uneven seedling growth in the nursery, jeopardizing commercial production. The use of ozone in agriculture offers a sustainable solution to accelerate seed germination and promote uniformity in seedling development. Ozone gas has a high oxidation potential and can accelerate and standardize the germination of coffee seeds, providing a low-cost alternative to the producer for seed treatment. Thus, the present work aimed to evaluate the effectiveness of the application of ozone gas at different exposure times regarding aspects of germination and seedling formation. The experiment was carried out at the Laboratory of Analysis of Seeds and Weeds and at the Vegetation House of the Institute of Education, Science, and Technology of Paraná, Campus Ivaiporã in the year 2022. The seeds used were coffee cultivar IPR 108 obtained through a donation from the Institute of Rural Development of Paraná. The experimental design was completely randomized in the analysis of germination in the laboratory, and at the field level, a completely randomized block design was used, divided into seven treatments with four repetitions, the treatments being described in a way that T1 testify; T2 treatment with ozone for 1 hour; T3 treatment with ozone for 2 hours; T4 treatment with ozone for 4 hours; T5 oxygen treatment for 1 hour; T6 treatment with oxygen for 2 hours; T7 oxygen treatment for 4 hours. This study analyzed the impact of the ozonation process on coffee seeds and its effect on germination and seedling development. The results indicate that ozonation had no significant effect on most of the analyzed variables, except for emergence speed. Moreover, ozonation showed beneficial effects on some variables, such as an increase in the number of strong normal seedlings and the expansion of the aerial part of the seedlings. However, emergence in tubes was reduced after ozonation. These results can be useful to guide future research and improve coffee seedling production techniques.

Keywords: *Ozone. Coffea. Seedlings. Development. emergence speed.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 Objetivo geral	10
1.1.2 Objetivo específico	10
1.1.3 Hipótese	10
2 DESENVOLVIMENTO	11
2.1 METODOLOGIA	11
2.1.1 Local e período do experimento	11
2.1.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	11
2.1.3 Parâmetros avaliados	13
2.1.4 Análise estatística dos dados	15
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.2.1 Origem e importância econômica.....	15
2.2.2 Característica botânica e fisiologia da germinação das sementes	17
2.2.3 Uso de ozônio no tratamento de sementes	18
2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	20
3 CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores produtores de café mundiais, sendo a produção da safra de 2021 equivalente a 47.716,0 mil sacas beneficiadas (CONAB, 2021). A espécie mais cultivada e de maior relevância é o *Coffea arabica* (café arábica), em razão da característica mais adocicada da bebida em relação às outras espécies do mesmo gênero. A forma de multiplicação da planta se dá por meio do uso de sementes de boa qualidade que demoram aproximadamente de 15 a 30 dias para iniciar o processo de germinação sob condições ótimas de temperatura, umidade e oxigênio.

Uma das principais razões para a demora no processo de germinação se dá ao fato de que a principal reserva das sementes de café ser as mananas, que pertencem a um grupo de carboidratos chamados de polissacarídeos, mais especificamente, as hemiceluloses, composto que precisa de enzimas altamente específicas para fazer a digestão, tornando o processo lento.

Na prática, essa lentidão na germinação pode acarretar atrasos na emergência da parte aérea da planta, maior tempo de contato das reservas da semente com microrganismos patogênicos do solo e desuniformidade no estabelecimento das mudas no viveiro, o que pode ser prejudicial para a produção comercial. Portanto, técnicas que buscam acelerar a germinação das sementes e a uniformidade da formação de mudas são sempre bem quistas pela comunidade científica bem como pela área comercial de produção de café.

O ozônio é uma molécula composta por três átomos de oxigênio (O_3) e possui alto poder oxidante, que é atribuído à sua capacidade de liberar átomos de oxigênio reativos, que podem interagir com substâncias orgânicas e inorgânicas. Na agricultura, o ozônio pode ser utilizado como uma ferramenta barata e sustentável, a aplicação controlada de ozônio em ambientes agrícolas pode ajudar a reduzir a incidência de patógenos e auxiliar na germinação de sementes. O ozônio atua oxidando substâncias inibidoras presentes nas sementes, removendo as barreiras que impedem o crescimento e o desenvolvimento inicial das plantas. Esse processo de oxidação pode resultar em mudanças benéficas nas sementes.

Mais recentemente, estudos vêm sendo desenvolvido com a aplicação do gás ozônio no tratamento das sementes por ser uma molécula de alto potencial oxidativo que pode reduzir a população de microrganismos ou oxidar moléculas com cadeias de carbono complexas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse ensaio foi investigar o efeito da ozonização sobre a germinação de sementes de café e identificar possíveis alterações nos parâmetros fisiológicos relacionados ao processo de germinação e formação das mudas.

1.1.2 Objetivo específico

- Realizar o levantamento bibliográfico sobre a cultura do café, germinação das sementes e efeitos do ozônio na qualidade das sementes;
- Implantar um ensaio com delineamento experimental compatível com as condições institucionais e custo benefício;
- Quantificar a germinação de sementes de café em laboratório;
- Avaliar a formação inicial de mudas de café.

1.1.3 Hipótese

A hipótese desse ensaio é que o processo de ozonização (altamente oxidativo) altera os parâmetros fisiológicos da germinação das sementes com potencial de acelerar a germinação por quebrar algumas moléculas complexas e favorece a formação das mudas de café.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 LOCAL E PERÍODO DO EXPERIMENTO

O ensaio foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes e Plantas Daninhas e na Casa de Vegetação do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, Campus Ivaiporã no período entre setembro e novembro de 2022. Sementes de café do cultivar IPR 108 foram obtidas através de doação do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná e foram processadas manualmente para retiradas de sementes chochas e imaturas. Adicionalmente, realizou-se a retirada do pergaminho manualmente para uma maior padronização da amostra. As sementes foram mantidas acondicionadas em saco de papel Kraft e armazenadas em temperatura ambiente até o início do experimento.

2.1.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) nas análises laboratoriais e delineamento de blocos casualizados (DBC) na casa de vegetação. Os tratamentos foram obtidos pelo arranjo fatorial $3 \times 2 + 1$, sendo 3 tempos diferentes de contato das sementes de café (1h, 2h e 4h) com 2 gases (ozônio e ar atmosférico) adicional de um tratamento controle (sementes sem exposição aos gases), totalizando 28 parcelas.

Para a classificação e homogeneização das sementes de café, seguiu-se as metodologias e procedimentos estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (RAS). Para tal, utilizou-se o método das divisões sucessivas, descrito no tópico 1.5.2 na página 38 da RAS (BRASIL, 2009). A amostra média do lote foi colocada sobre uma superfície limpa e lisa, manualmente homogeneizada, amontoada e dividida ao meio com o auxílio de uma régua. Desprezando-se uma das metades, repetiu-se com a outra metade as mesmas operações anteriores, até que fosse obtida uma amostra de trabalho com peso igual ou ligeiramente superior a um limite de 3% da amostra de trabalho. Ao separar as duas porções resultantes de cada divisão, foi garantida ainda que todo o material presente, inclusive impurezas fossem também divididos em cada metade. Ao final da homogeneização, a última amostra foi separada em 7 porções. Uma das porções foi

mantida reservada e passou a ser denominada “controle”. Outras 6 porções foram agrupadas em duas porções homogêneas e alocadas no interior de frascos de vidro do tipo Erlenmeyer (volume de 250 mL), como observado na Figura 1.

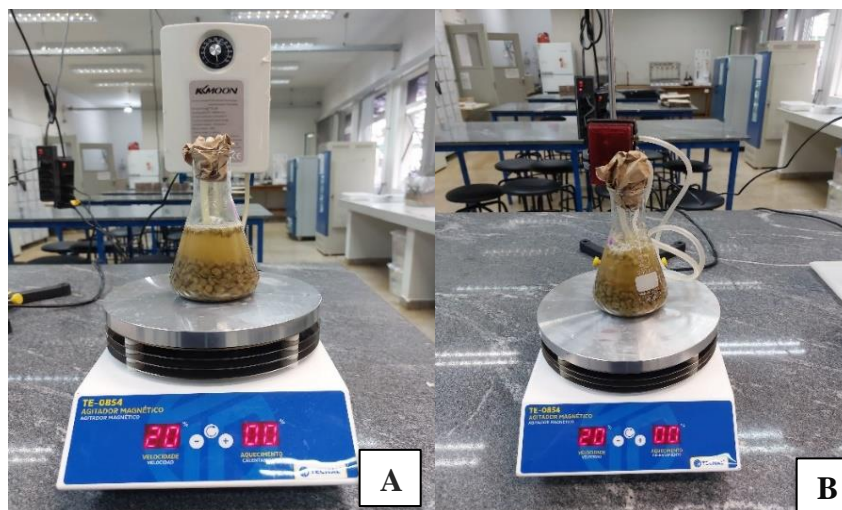
Figura 1: Sementes de café arábica cultivar IPR 108 após o processo de remoção do pergaminho.



Fonte: A autora, 2022.

Logo após, foram adicionados aos dois frascos 250 mL de água e colocados em agitação a velocidade de 20 rpm por 1, 2, 4 h, utilizando o agitador magnético Tecnal e modelo TE-0854. Em um dos frascos foi inserida uma mangueira plástica acoplada a um equipamento ozonizador com vazão nominal de 2000 mg h⁻¹ e no outro inserida uma mangueira plástica acoplada a um aerador com vazão nominal de 35 L h⁻¹.

Figura 2: Procedimento: A – sementes de café, cultivar IPR 108, submetida ao processo de ozonização; B – sementes de café, cultivar IPR 108, submetidas ao processo de aeração.



Fonte: A autora, 2022.

À medida que se atingia o tempo proposto para cada tratamento, as sementes eram retiradas, colocadas sobre papel toalha para retirar o excesso de água e submetidas aos testes para avaliação do potencial fisiológico, conforme descrito no item 2.3.

2.1.3 PARÂMETROS AVALIADOS

Germinação de sementes de café: Determinado a partir de 20 sementes em 4 repetições distribuídas em gerbox transparentes (11 x 11 x 3,5cm) entre areia. O substrato areia grossa foi obtido através da esterilização em autoclave a 120° C por 60 minutos. Em seguida, foi realizada a determinação da capacidade de retenção de água, conforme descrito nas Regras para Análise de Sementes, por meio da pesagem do volume de areia necessário para cada gerbox (438,316 g) e avaliação da quantidade de água retida por esse substrato. Dessa forma, obteve-se o valor de retenção de água por grama de areia de 0,141 mL g⁻¹. Posteriormente as gerbox foram distribuídas conforme seu delineamento, em incubadora BOD à temperatura de 25 ± 3 °C para germinação.

Através dos resultados de germinação foram obtidos os parâmetros porcentagem de plântulas normais e porcentagem de plântulas normais fortes, visualmente classificadas conforme a seu vigor e aparência (Figura 3).

Comprimento, massa de matéria seca e proporção de plântulas de café: Obtido a partir das plântulas provenientes da germinação. O comprimento de plantas foi determinado através de um elástico para aferição e uma régua milimetrada para medição. A massa de matéria seca foi determinada por meio da secagem do material em estufa, com circulação e renovação de ar forçada, a 70 °C por aproximadamente 7 dias e/ou até obter peso constante. A proporção parte aérea e raiz, obtida pela razão entre as medições da parte aérea e raiz.

Emergência e índice de velocidade de plântulas em casa de vegetação: Determinado a partir de 20 sementes em 4 repetições que foram levadas para casa de vegetação em tubetes de 180mL a uma profundidade de 2 cm, seguindo o delineamento de blocos casualizados. O substrato para plantas usado foi o Mecplant® composto de casca de pinus bioestabilizada e a irrigação era realizada duas vezes ao dia.

A casa de vegetação é do tipo arco, de dimensões de 8 metros de comprimento por 12 metros de largura, totalizando 96 m², pé direito de 3 metros, cobertura de filme plástico (polietileno transparente), duas aberturas na parte superior para controle de temperatura,

proteção lateral com tela antiafideo branca. O clima da região segundo a classificação climática Köppen, é de subtropical úmido (Cfa), significa que a região possui verões quentes e invernos amenos, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sem uma estação seca pronunciada. As temperaturas médias anuais variam entre 17°C e 19°C, e recebe uma quantidade significativa de chuvas, especialmente nos meses de verão.

As parcelas foram observadas diariamente e a partir da germinação foi contabilizada a quantidade de plântulas emergidas por dia até 75 dias após a instalação do experimento. Foi considerado plântula emersa quando o eixo do comprimento do cotilédone apresentava um ângulo de 90° em relação ao hipocótilo. Para o índice de velocidade de emergência foi usada a equação proposta por Maguire (1962), conforme descrita a seguir (Equação 1).

$$IVE = \sum \frac{\text{número de plântulas germinadas}}{\text{dia da observação}} \quad (1)$$

Figura 3: Classificação e avaliação das plântulas normais.



Fonte: A autora, 2022.

2.1.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram submetidos a verificação dos pressupostos do modelo matemático e testados conforme teste de Shapiro-Wilk e Bartlett. A análise de variância foi realizada para aplicação do teste F e quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey (5%) para comparação das médias do esquema fatorial e o teste de Dunnett (5%) para comparação dos tratamentos com o controle. O software utilizado foi o RStudio e análise realizada por meio do pacote “Tratamentos.ad”.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 ORIGEM E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O café pertence à família Rubiaceae, cuja a subfamília Ixoroideae, tribo Coffeae DC e gênero *Coffea* L. que possui cerca de 104 espécies classificadas. As espécies de café mais utilizadas para consumo e comercialmente mais importantes, principalmente para bebida, são o café arábica, *C. arabica* L. e, o café robusta, *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (SAKIYAMA et al., 2015).

A história da descoberta do café arábica é repleta de lendas e contos, fatos que tornam o apreciar da bebida ainda mais interessante. Segundo a lenda, um pastor de cabras (chamado Kaldi), às margens do Mar Vermelho, observou que após seus animais pastorearem e se alimentarem de frutos de um arbusto que ali crescia, eles ficavam mais animados. Um monge observou esse comportamento dos animais e coletou alguns frutos maduros do arbusto e levou para o monastério onde torrou e preparou uma bebida. Como resultado, ao partilhar da bebida com os irmãos do monastério, eles conseguiam ficar mais alertas nas longas noites de oração. (SMITH, 1985).

Deixada essa lenda de lado, a bebida originária do preparo com grãos torrados e moídos é a segunda bebida mais consumida no mundo e duas espécies são as principais fontes de café: *Coffea arábica*, de origem na Etiópia e *Coffea canephora*, de origem do Congo, sendo que nesta revisão apenas será tratado o café arábica. Por muito tempo a apreciação ficou restrita apenas a países islâmicos e o cultivo do café ficou restringida ao Iêmen e Arábia Saudita pois não era permitido que as sementes fossem comercializadas com o embrião vivo ou tampouco permitido

visitas a plantações. Por meio de contrabando de um peregrino indiano as sementes foram levadas para a Índia e, em seguida, distribuídas nas ilhas de Java (atual Indonésia). No ano de 1706 ou 1710 as plantas chegaram até a Europa em Amsterdã, por meio das navegações holandesas, e, em seguida, para França (por meio de presente dos holandeses). Vendo o crescimento do consumo da bebida na Europa, a Holanda então distribuiu o cultivo de *Coffea arabica*, em suas colônias, sendo que 1718 alcançou a América do Sul por meio do Suriname. No Brasil, o café foi introduzido em 1727 no estado do Grão-Pará e, em seguida, se disseminou para outras regiões. Nessa mesma época (1715 a 1718) outras plantas de café arábico foram levadas do Iêmen para as Ilhas Bourbon (atual Ilhas Reunidas) pelo reinado francês para explorar o cultivo em suas colônias (FERREIRA et al., 2019). Assim, por meio dessas duas potências europeias (Holanda e França) o café se espalhou ao redor do mundo sendo cultivado ao redor do mundo.

Em 2019 a produção mundial do café foi de 10.035.576 toneladas sendo o Brasil o maior produtor de grãos verdes com aproximadamente 30% do total (FAOSTAT, 2021). O Brasil está entre os maiores produtores de café mundiais, sendo a produção da safra de 2021 equivalente a 47.716,0 mil sacas beneficiadas (CONAB, 2021). Sendo produzido em área de 1.808.462,5 ha (CONAB, 2021) e cultivado em 16 Estados divididos em 300.000 propriedades, possuindo cerca de 7 bilhões de cafeeiros (MOURA et al., 2019).

De acordo com a Associação Brasileira de Cafés Especiais, o Paraná é uma das regiões que mais tem se destacado na produção de cafés especiais no Brasil. Em 2020, o estado foi responsável por 6,5% da produção nacional de cafés especiais, o que representa um aumento de 25% em relação ao ano anterior. O Paraná é um importante produtor de café arábica, com destaque para a região de Ivaiporã-PR, que tem se destacado na produção de cafés especiais. A região investe em tecnologia e sustentabilidade, o que tem contribuído para a qualidade e produtividade dos cafés produzidos no estado (BSCA, 2020).

Por isso, há sempre a necessidade de investimento em pesquisa e inovação para atender a demanda de café no Brasil e no mundo, através de programas intensivos de melhoramento genético para obter novas cultivares resistentes a doenças e insetos e incorporar novas características de valor. Além disso, tecnologias de produção avançadas, novas técnicas de manejo e processamento são adotadas e aperfeiçoadas todos os anos, gerando melhorias na produção de café. A produtividade de uma lavoura de café se dá através dos fatores como a

formação e germinação da semente, ciclo de vida e estabelecimento do cultivar interligados a qualidade das sementes utilizadas na produção das mudas do cafeeiro (FREIRE et al., 2017).

2.2.2 CARACTERÍSTICA BOTÂNICA E FISIOLOGIA DA GERMINAÇÃO DAS SEMENTES

O café arábica é uma planta perene, sendo alotetraploide e autógama por cleistogamia, arbustiva que possui a raiz pivotante e ramo dimórfico com crescimento contínuo, suas folhas são inteiras, coriáceas, com pecíolos curtos e persistentes. Sua inflorescência tem ocorrência em ramos laterais novos em seus nós, em glomérulos de flores hermafroditas autocompatíveis completas. Apresenta fruto climatérico que ao atingir a maturação é denominado como fruto cereja podendo apresentar coloração vermelha ou amarela do seu exocarpo, sendo classificado como fruto do tipo drupa, com duas sementes chatas. As sementes possuem formato que podem ser plano-convexo, elíptico ou oval, sulcadas longitudinalmente na face plana, de espessura média, endosperma de coloração verde, película prateada clara e levemente aderida ao endosperma (SAKIYAMA et al., 2015).

As sementes de café possuem germinação lenta, principalmente no campo, sendo que a emergência das plântulas de café arábica do solo tem início em torno de 50 a 60 dias após a semeadura dentro dos períodos com temperaturas mais altas do ano. E em temperaturas mais baixas, a germinação pode aumentar, podendo chegar até 90 dias após a semeadura. Posteriormente à germinação do café seus cotilédones se desenvolvem a partir da absorção do endosperma, e apresentam coloração verde, sendo assim, a primeira parte da semente a emergir do solo, representando o crescimento epigeo das plântulas (FREIRE et al., 2018).

O endocarpo possui o potencial de inibir drasticamente a germinação de sementes de café, sendo assim completamente removido antes dos testes de germinação. Sobre a protrusão da radícula em sementes de *Coffea arabica* introduzidas em ambientes de condições excelentes, como é o caso de experimentos dentro de laboratórios, segundo a literatura, tendo uma temperatura de 30°C, no escuro, no dia 15 de embebição, a maioria das sementes está em completa germinação. Evidentemente, a germinação é acelerada em condições ótimas quando os efeitos ambientais, como variações nas temperaturas dia-noite e no potencial hídrico do solo, estão ausentes. Além disso, a germinação em condições de campo é definida como a emergência das plântulas do solo (EIRA et al., 2006).

Dentre os tecidos de reservas das sementes de café, o componente de maior concentração são os polissacarídeos. As paredes celulares do endosperma são compostas por celulose e hemicelulose, principalmente por mananas insolúveis. A digestão do endosperma é o primeiro processo para iniciar a germinação das sementes, sendo que por possuir substâncias de difícil degradação, resulta em germinação lenta e desuniforme (EIRA et al., 2006). À medida que os cotilédones se desenvolvem, eles consomem essas reservas, crescendo dentro do endosperma. Durante a germinação, a radícula emerge da semente e cresce em direção ao solo, seguindo o geotropismo. Posteriormente, o hipocótilo se endireita verticalmente, elevando a semente acima do substrato de plantio. Nesse ponto, as folhas cotiledonares começam a se abrir e se projetar para fora dos restos do endosperma, que se assemelham a uma membrana semelhante ao pergaminho. Após a germinação, o caule principal cresce verticalmente. As primeiras folhas verdadeiras que surgem no caule estão dispostas em pares opostos. No entanto, à medida que o caule continua a crescer, ocorre uma torção que faz com que o próximo par de folhas pareça estar deslocado verticalmente em 120 graus em relação ao primeiro par, e o par subsequente em 240 graus. O terceiro par de folhas, que sofre outra torção de 120 graus, volta a estar no mesmo plano vertical que o primeiro par, e assim por diante ao longo do caule principal. Nos ramos laterais, todas as folhas se encontram em um único plano, com suas faces inferiores voltadas para cima (MATIELLO et al., 2020).

2.2.3 USO DE OZÔNIO NO TRATAMENTO DE SEMENTES

O ozônio (O_3) é um gás encontrado naturalmente na atmosfera terrestre, e produzido artificialmente. O gás é instável e altamente reativo, possuindo alto poder oxidante e sendo capaz de destruir microrganismos patogênicos (LUZ et al., 2014).

O gás ozônio possui características efetivas para o seu uso em tratamentos de sementes, apesar de não ser consolidado para esta finalidade. O gás ozônio se trata de um gás encontrado em sua forma triatômica do oxigênio (O_3), possui parcial solubilidade em água e é extremamente instável. Possui odor característico, poder penetrante, sendo facilmente detectável em concentrações baixas (0,01 a 0,05 mg L⁻¹). Além disso, possui altíssimo potencial de oxidação, principalmente quando comparado a outros agentes oxidantes. Sua rápida decomposição não deixa resíduos nos produtos tratados pelo ozônio, que se converte em oxigênio após a decomposição. Outro fator observado é que o gás ozônio não reduz as

características nutritivas das sementes ou plantas tratadas sem a formação de metabólitos que são prejudiciais à saúde de seres humanos e animais (RODRIGUES, 2021).

O tratamento de sementes com gás ozônio é uma técnica relativamente nova, mas que tem ganhado destaque nos últimos anos, principalmente em cultivos orgânicos e sustentáveis. Esse método é considerado uma alternativa aos tratamentos químicos convencionais, que podem ser prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

Apesar dos benefícios, o tratamento de sementes com gás ozônio ainda é pouco utilizado em larga escala, principalmente devido à falta de equipamentos adequados e à necessidade de ajustes nas técnicas de aplicação. No entanto, a tendência é que esse método se popularize cada vez mais, em função dos seus benefícios ambientais e agronômicos.

Em sementes, o uso de ozônio tem sido realizado experimentalmente com potencial de redução de incidência de microrganismos fitopatogênicos, como observado com *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. em arroz (SANTOS, 2014). Adicionalmente, o gás ozônio tem sido usado como um agente de controle de pragas de grãos e sementes armazenadas, conforme trabalhos realizados por Abreu et. al. (2021) em sementes de feijão caupi.

No entanto, ainda são necessários mais estudos para consolidar a efetividade e segurança do uso do ozônio como agente de tratamento de sementes em larga escala. Além disso, é importante destacar que o uso do ozônio em tratamentos de sementes ainda está em fase de desenvolvimento e é necessário ajustes nas técnicas de aplicação (WERNCKE, 2020). Portanto, apesar dos benefícios e potenciais do uso do ozônio como agente de tratamento de sementes, é preciso cautela na utilização e mais estudos para avaliar seus efeitos a longo prazo na produção de plantas e no meio ambiente.

Por outro lado, também têm sido realizados estudos no intuito de verificar efeitos da ozonização na fisiologia da germinação das sementes de milho (MAXIMIANO, 2018) e amendoim (MACHADO et al., 2022). Pela pesquisa realizada não encontramos trabalhos sobre o efeito da ozonização em sementes de café arábica, sendo que estudos sobre a fisiologia da germinação de sementes de café são essenciais para aprimorar a velocidade do estabelecimento das mudas, considerando que pesquisas nesta área são fundamentais para a cadeia produtiva da cultura. O gás ozônio apresenta elevado potencial de oxidação que pode acelerar e uniformizar a germinação de sementes de café, sendo uma alternativa de baixo custo ao produtor para o tratamento de sementes.

2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de variância, indicando que a ozonização afetou significativamente algumas das variáveis analisadas. Os dados foram analisados para o teste de normalidade, o qual indicou que os dados se apresentam de forma paramétrica. Já o teste homoscedasticidade é um pressuposto importante para garantir a confiabilidade dos resultados, utilizado para verificar se a variabilidade dos erros é constante em todas as condições ou grupos da pesquisa, além de permitir a seleção adequada de métodos estatísticos e a interpretação correta dos dados. A partir daí, seguiu-se para o teste de análise de variância conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo do quadro de análise de variância para sementes de café submetidas ao procedimento de ozonização, Ivaiporã – PR.

Resumo da Anava	Graus de liberdade	Plântulas normais	Plântulas normais fortes	Comprimento de parte aérea	Comprimento de raiz	Proporção parte aérea: raiz	Massa seca de parte aérea	Massa seca de raiz	Emergência em tubetes	Índice de velocidade de emergência
.....Pressupostos do modelo estatístico (P valor)										
Normalidade (Teste Shapiro-Wilk)	-	0.5746	0.6363	0.283	0.571	0.9919	0.5025	0.9823	0.676	0.8957
Homoscedasticidade (Teste de Bartlett)	-	0.8318	0.5604	0.3207	0.2146	0.3023	0.8672	0.2527	0.811	0.871
.....Significância do teste F Pr > f.....										
Gás	1	0.7853	0.7049	0.0950	0.6859	0.2893	0.2190	0.1562	0.1027	0.1319
Tempo	2	0.5634	0.8406	0.2093	0.1197	0.0442	0.1383	0.0995	0.0004	0.0001
Gás x Tempo	2	0.2014	0.0659	0.0991	0.8058	0.0678	0.0689	0.4736	0.0022	0.0023
Test x Tratamentos	1	0.0494	0.0011	0.0001	0.4975	0.0025	0.2724	0.5861	0.0004	0.0002
Coefficiente de variação		8.74%	15.50%	8.25%	11.00%	9.40%	9.74%	27.47%	12.84%	12.47%

Fonte: A autora, 2023.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos experimentos comparando a ozonização e aeração nos diferentes tempos em relação ao grupo controle. Os resultados indicaram que a ozonização teve um efeito significativo nos parâmetros plântulas normais e plântulas normais fortes. Em ambos os parâmetros, a ozonização por 1 e 2 horas aumentou o número de plântulas normais fortes em relação aos tempos de 4 horas, sugerindo que o procedimento pode ter um efeito benéfico na qualidade das plântulas. O mesmo resultado foi alcançado para o sistema de aeração após 4 horas. Em seu estudo, Rodrigues (2018) evidenciou que, após 60 minutos de

exposição ao ozônio, houve um discreto, porém significativo, aumento na porcentagem de plântulas normais de algodão em comparação com as sementes não tratadas.

Tabela 2 – Plântulas normais totais, plântulas normais fortes, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, proporção parte aérea: raiz, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz, emergência em tubetes e índice de velocidade de emergência de sementes de café submetidas ao procedimento de ozonização.

Desdobramentos fatoriais	Controle	Tempo de exposição			Coeficiente de variação	
		1h	2h	4h		
.....Plântulas normais (%)						
Ozônio		89*	89*	82		
Ar atmosférico	78*	88*	81	88*	8.74%	
.....Plântulas normais fortes (%)						
Ozônio		74 aA*	80 abA*	63 bA		
Ar atmosférico	50*	70 aA	66 aA	76 aA*	15.50%	
...Comprimento de parte aérea (cm plântula⁻¹)						
Ozônio		3.99 bA*	4.65 aA*	4.18 abA*		
Ar atmosférico	3.31*	4.05 aA*	3.99 aB*	4.06 aA*	8.25%	
.....Comprimento de raiz (cm plântula⁻¹)						
Ozônio		2.6	2.6	2.3		
Ar atmosférico	2.4	2.5	2.6	2.3	11.00%	
.....Proporção Parte Aérea: Raiz.....						
Gás	Ozônio	1.4 : 1*	1.5 : 1 bA	1.8 : 1 aA*	1.8 : 1 aA*	
	Ar atmosférico		1.6 : 1 aA	1.5 : 1 aB	1.7 : 1 aA*	9.40%
...Massa seca de parte aérea (mg plântula⁻¹) ...						
Ozônio		821 abA	845.2 aA	698.2 bA		
Ar atmosférico	723.8	779.5 aA	716.8 aB	753 aA	9.74%	
.....Massa seca de raízes (mg plântula⁻¹)						
Ozônio		194.5	224.8	226.8		
Ar atmosférico	215.2	140.0	173.2	233.2	27.47%	
.....Emergência em tubetes (%)						
Ozônio		68 aA	45 bA*	46 bA*		
Ar atmosférico	64*	50 aB*	50 aA*	46 aA*	12.84%	
.... Índice de velocidade de emergência....						
Ozônio		0.170 aA	0.111 bA*	0.116 bA*		
Ar atmosférico	0.162*	0.129 aB*	0.126 aA*	0.114 aA*	12.48%	

‡ Médias seguidas de letras similares, minúsculas na linha e maiúscula na coluna, para cada parâmetro avaliado, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; * Sinalização indicativa de diferença do controle pelo teste de Dunnett a 5%.

Fonte: A autora, 2023.

Também foi observado um aumento no comprimento de parte aérea e a razão parte aérea/raiz quando comparada ao grupo controle, sugerindo que o ozônio pode incentivar a expansão da parte aérea das plântulas. Entre os tempos estudados, os maiores comprimentos de parte aérea foram com 2h de exposição ao ozônio, sendo que não houve diferença entre os tempos quando as sementes foram submetidas a aeração (Tabela 2). Quanto a proporção parte aérea: raiz a superioridade foi verificada em relação a testemunha para os tempos 2h e 4h no processo de ozonização e 4h no processo de aeração.

Corroborando ao resultado de comprimento de parte aérea, resultados similares foram verificados na massa seca de parte aérea, no entanto, sem diferença da testemunha, mas com superioridade para o tratamento 2h de exposição ao ozônio.

No entanto, quando o ensaio foi conduzido na casa de vegetação, onde não há controle de temperatura a exposição ao ozônio nos tempos de 2 e 4 horas reduziu a emergência em tubetes em relação ao controle, sugerindo que o processo de ozonização quando sob outras influências (ambiente não controlado) pode afetar a capacidade das plântulas de emergir do solo e se desenvolver adequadamente. O mesmo comportamento foi observado para os tratamentos que foram submetidos a aeração, com inferioridade em relação a testemunha.

Esses resultados indicam que o processo de ozonização pode afetar significativamente alguns parâmetros relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plântulas de café. O aumento do número de plântulas normais fortes, do comprimento da parte aérea e da proporção parte aérea/raiz pode indicar um estímulo positivo do ozônio no desenvolvimento das plântulas em condições de laboratório, fato que não refletiu o mesmo comportamento na condição de campo.

A proporção parte aérea/raiz é uma medida importante do desenvolvimento das plantas, ao indicar como elas estão alocando seus recursos para crescer, o aumento dessa proporção sugere que as plântulas ozonizadas podem estar investindo mais em sua parte aérea, o que pode ter implicações na produção de frutos e sementes (HENRIQUE et al., 2011).

O índice de velocidade de emergência apresentou diferenças significativas entre os grupos, indicando que o processo de ozonização pode ter influenciado a velocidade de emergência das sementes de café. Por outro lado, a redução da emergência em tubetes nos tempos de 2 e 4 horas pode ser um efeito indesejado da ozonização, uma vez que pode afetar negativamente a produtividade de mudas. Isso sugere que é necessário um cuidado especial na determinação do tempo de exposição ao ozônio para garantir que os efeitos positivos

sobressaiam os negativos.

No entanto, é importante destacar que o uso do ozônio em tratamento de sementes ainda está em fase de desenvolvimento e estudos adicionais são necessários para consolidar sua efetividade e segurança em larga escala. Alguns estudos já mostraram que o processo de ozonização pode afetar algumas variáveis relacionadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, como demonstrado no presente estudo. Portanto, é fundamental avaliar cuidadosamente as condições de aplicação do ozônio em diferentes culturas e condições de cultivo.

De modo geral, os resultados apresentados sugerem que o uso do ozônio pode ser uma opção interessante na produção de sementes de café, mas é necessário considerar que os efeitos do ozônio variam conforme o tempo de exposição e a variável analisada. Em geral, os resultados apresentados neste estudo contribuem para o avanço do conhecimento sobre o uso do ozônio como agente de tratamento de sementes de café e podem ser úteis para orientar futuras pesquisas e aprimorar as técnicas de produção de mudas de café com melhor qualidade e desenvolvimento. A implementação do processo de ozonização na produção de sementes de café pode trazer benefícios como o aumento da germinação e do vigor das plantas, além de ser uma opção sustentável e segura, desde que mais estudos sejam realizados.

Portanto, sugere-se que futuras pesquisas aprofundem o estudo sobre o uso do ozônio na produção de sementes de café, buscando entender melhor os efeitos do ozônio em diferentes variáveis e considerando a otimização das condições de ozonização para maximizar os benefícios do tratamento.

3 CONCLUSÕES

A aplicação de ozônio nas sementes de sementes de café aumenta o número de plântulas normais fortes, o comprimento de parte aérea e a proporção parte aérea/raiz no tempo de exposição de 1 hora, indicando que o ozônio tem efeito benéfico na qualidade das plântulas e na formação da parte aérea a nível de condições controladas em relação ao tratamento controle. Os tempos de 2 horas e 4 horas, apresentam resultados não conclusivos em relação ao tempo de exposição, na presença de ozônio ou ar atmosférico. Nas condições de casa de vegetação a ozonização nos tempos de 2 e 4 horas reduziu a emergência das plântulas em tubetes resultando em menor quantidade de mudas e menor índice de velocidade de germinação em relação a testemunha.

REFERÊNCIAS

BSCA - Associação Brasileira de Cafés Especiais. **Relatório de Safra 2020 - Cafés Especiais**. Disponível em: <https://bsca.com.br/wp-content/uploads/2020/12/Relat%C3%B3rio-de-Safra-2020-Caf%C3%A9s-Especiais-BSCA.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ABREU, A. O. **Ozônio como alternativa para o controle de *Callosobruchus maculatus* em grãos de feijão-caupi**. 2021. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 2009. 365p. Acesso em: 18 set. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café - v. 7 - Safra 2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 dez. de 2022.

EIRA, M. T. S.; SILVA, E. A. A.; CASTRO, R. D.; DUSSERT, S.; WALTERS, C.; BEWLEY, J. D.; HILHORST, H. W. M. Coffee seed physiology. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 149-163, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1677-04202006000100011>. Acesso em: 18 out. 2022.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura). **Produção mundial de café**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>. Acesso em: 18 out. 2022.

FERREIRA, T.; SHULER, J.; GUIMARÃES, R.; FARAH, A. Introduction to Coffee Plant and Genetics. In: FARAH, A. (Ed.) **Coffee: Production, Quality and Chemistry**, Royal Society of Chemistry: S/Am 2019, pp. 1-25.

FREIRE, A. M.; REZENDE, R.M.; ABREU, M.; FREITAS, A. S. de; MIRANDA, W. L. **Germinação de sementes de café arábica submetidas a diferentes tratamentos**. In: 43º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 434., 2017, Poços de Calda. Brasília: Embrapa Café, 2019. p. 1-5. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9276>. Acesso em: 29 mar. 2023.

FREIRE, A. M.; ABREU, M.; REZENDE, R. M.; FREITAS, A. S.; MIRANDA, W. L. Tratamentos para acelerar a germinação de sementes de *coffea arabica* l. **Revista de Iniciação Científica da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 7, n. 2, 2018. Acesso em: 03 maio 2023.

HENRIQUE, P. C.; ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E.; DEUNER, S.; GOULART, P. F. P. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 458-465, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000500002>. Acesso em: 2 mar. 2023.

LUZ, C. E. A. **Sinergia entre o controle químico e a atmosfera modificada com ozônio para o manejo do gorgulho do milho.** 2014. 45 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/10440/1/2014_CarlosEduardoAlmeidaLuz.pdf. Acesso em: 2 mar. 2023.

MACHADO, I. M. G. J.; INACIO, L. H.; SILVA, N. D. R.; GONÇALVES, F. J. T.; COSTA, D. S.; Physiological potential and health of peanut seed treated with ozone. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 43, n. 2, p. 561-572, 25 fev. 2022. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n2p561>. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n2p561>. Acesso em: 6 maio 2023.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p.176-77, 1962.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações.** 2020. ed. Varginha: Fundação Procafé, 2020.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O. S.; ALENCAR, E. R.; BLUM, L. E. B. Physiological and sanitary quality of maize seeds preconditioned in ozonated water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 360-365, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p360-365>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MOURA, W. M.; COSTA, T. L.; SILVA, A. S. L.; LOPES, V. S.; FREITAS, M. A. S.; JACOB, L. L. **Influência de sistemas de cultivo no desempenho de cultivares de café arábica.** In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 10., 2019, Vitória. Brasília: Embrapa Café, 2019. p. 1-5. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12715>. Acesso em: 29 mar. 2023.

PEREIRA, E. M.; SANTOS, H. O.; FROTA, G. J.; RIBEIRO, T. L.; FREITAS, A. S.; NUNES, P. S. O.; LEITE, L. S. F; CARVALHO, M. H.; VON PINHO, E. V. R. **Análise proteômica do processo germinação em sementes de café submetidas a diferentes métodos de secagem.** In: Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeiras. 43., 2017, Poços de Caldas. Brasília: Embrapa Café, 2017. p. 1-2. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9416>. Acesso em: 29 mar. 2023.

RODRIGUES, V. O. **Tratamento sanitário de sementes de algodão, soja e pimentão com o gás ozônio.** 2018. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia/Fitotecnia, Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

RODRIGUES, V. O.; OLIVEIRA, A. M. S.; ROCHA, D. K.; KREPISCHI, L. S.; CARVALHO, M. V.; OLIVEIRA, J. A.; PIRES, R. M. O. Ozônio no tratamento sanitário e efeito na qualidade fisiológica e bioquímica de sementes de pimentão. **Brazilian Journal Of Development**, v. 7, n. 2, p. 14856-14871, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24566/19630>. Acesso em: 28 fev. 2023.

SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa: Ufv, 2015. 316 p.

SANTOS, R. R. **Ozônio como agente fungicida e seu efeito na qualidade do arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7327/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SMITH R.F. A History of Coffee. In: CLIFFORD M.N.; WILLSON K.C. (eds) **Coffee**. Springer: Boston, 1985.

SOUZA, J. V. S. **Ozonização de sementes de milho: Cinética de decomposição e efeitos fisiológicos**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2018, 103 p. Tese de Doutorado.

WERNCKE, I. **Qualidade de sementes de milho em função do tipo de secagem, armazenamento e aplicação de ozônio**. 2020. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4744/5/Ivan%20Werncke%20.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.