



GIOVANA JANINI FROTA

CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE
Coffea arabica L.

LAVRAS-MG
2021

GIOVANA JANINI FROTA

CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Coffea arabica* L.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Frota, Giovana Janini.

Condicionamento fisiológico de sementes de *Coffea arabica*

L. / Giovana Janini Frota. - 2021.

49 p. : il.

Orientador(a): Heloisa Oliveira dos Santos.

Coorientador(a): Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Priming. 2. Qualidade de sementes. 3. Enzimas antioxidantes. I. Santos, Heloisa Oliveira dos. II. Rosa, Sttela Dellyzete Veiga Franco da. III. Título.

GIOVANA JANINI FROTA

**CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Coffea arabica* L.
PHYSIOLOGICAL CONDITIONING OF SEEDS OF *Coffea arabica* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de agosto de 2021.

Profa. Édila Vilela de Resende Von Pinho UFLA

Profa. Dra. Renata Silva Mann UFS

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Orientadora

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2021**

*A Deus. Aos meus pais Fernando Frota e Isabela Janini, pelo amor, apoio,
força, e pelo exemplo de honestidade, respeito e dedicação.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Isabela e Fernando, por serem meu maior exemplo de resiliência, dedicação, honestidade e força, por nunca me deixarem desanimar ou desistir, por todo o cuidado e carinho, por não medirem esforços para a realização dos meus sonhos e pelo amor incondicional.

Às minhas irmãs, Junia e Valentina, por todo o amor, carinho, apoio, e por tornarem tudo mais leve.

Ao meu avô Janini, por me ensinar que devemos sempre persistir em nossos sonhos e nunca deixar de sonhar. Às minhas avós Elisabete e Heliane, por todo o amor e apoio.

Ao Newton, por ter sido meu melhor amigo desde que nos conhecemos, por todo o amor, cumplicidade, paciência, apoio, e por nunca medir esforços para me ajudar a alcançar meus objetivos e me ver sempre feliz.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À minha orientadora, Prof. Dra. Heloísa Oliveira dos Santos, por todos os ensinamentos transmitidos durante esses anos, por toda a paciência, por me incentivar e me acalmar nos momentos mais difíceis, e por me acolher durante essa trajetória.

À minha coorientadora, Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa, pela atenção, pela disposição em sempre ajudar, e por ser uma inspiração como pessoa e profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT CAFÉ).

Aos membros da banca examinadora, Dra. Heloisa Oliveira dos Santos, Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho e Dra. Renata Silva Mann, pela disponibilidade, por terem aceitado o convite e pelas contribuições realizadas.

A todos os alunos do grupo de pesquisa da professora Heloísa, por toda a ajuda durante a realização do experimento e por tornarem a realização desse projeto possível.

Aos professores, técnicos e funcionários do Setor de Sementes, por toda a disponibilidade e auxílio.

Aos meus amigos de Varginha, em especial, Lilian, Marcela, Carol, Fernanda e Julia, por todo o amor, carinho, por se fazerem presentes e sempre torcerem por mim.

Aos meus colegas de mestrado, Ana e Giovani, que se tornaram meus grandes amigos para a vida, por me acompanharem durante toda essa caminhada e serem meu porto seguro e alegria.

Aos meus queridos amigos da “seeds”, Elise, Thamires, Iolanda, Juara, Edlânia, Dani, Madeleine, Thaísa e Nariga, por toda a preocupação, ajuda, apoio, e por tornarem essa jornada muito mais leve.

Às minhas irmãs da Saia Justa, pelos melhores momentos vividos. A Saia Justa foi muito importante para o meu crescimento pessoal e profissional, meu eterno amor e gratidão por vocês e por todos os momentos juntas.

A Deus, pela presença constante em minha vida, pela minha vida, minha família, por iluminar meus caminhos permitindo a realização dos meus maiores sonhos e por colocar pessoas incríveis em meu caminho.

Muito obrigada!

RESUMO

O café é um dos mais importantes produtos agrícolas comercializados no Brasil e no mundo, sendo o segundo item em importância do comércio internacional de *commodities*, atrás apenas do petróleo. A utilização de sementes de alta qualidade fisiológica é um fator crucial para a obtenção de mudas de cafeeiro mais vigorosas em condições de campo e, conseqüentemente, para a formação de lavouras saudáveis e produtivas. Dessa forma, o armazenamento de sementes de café é um grande desafio para os produtores de sementes, uma vez que sementes de *Coffea arabica* L. são classificadas como intermediárias, ou seja, possuem baixa longevidade. Outro fator que interfere na qualidade das sementes de café durante o armazenamento é a produção de radicais livres, que estão envolvidos em diversos aspectos da fisiologia das sementes. Sua geração ocorre durante a dessecação das sementes, germinação e envelhecimento, que pode levar ao estresse oxidativo e danos celulares, resultando na deterioração. No entanto, as células possuem um sistema enzimático antioxidante de defesa que atua contra os radicais livres e participa da sobrevivência das sementes. Os mecanismos de desintoxicação desempenham um papel fundamental na conclusão da germinação de sementes e armazenamento das mesmas. O condicionamento fisiológico é uma alternativa para a melhoria do desempenho de sementes que apresentam problemas de germinação e vigor, como é o caso de sementes de café armazenadas, uma vez que essa técnica traz como vantagens o aumento da rapidez e uniformidade na emergência de plântulas, e a tolerância das sementes a condições ambientais adversas e estresses fisiológicos, que causam um aumento na produção radicais livres. Portanto, a pesquisa foi proposta a fim de avaliar o efeito do condicionamento fisiológico em sementes de *Coffea arabica* L. submetidas a diferentes soluções condicionantes, através de avaliações de características fisiológicas associadas à atividade enzimática.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Priming. Qualidade de sementes.

ABSTRACT

Coffee is one of the most important agricultural products traded in the world and in Brazil, being the second most important item in the international trade of commodities, behind only oil. The use of high quality seeds is a crucial factor for obtaining more vigorous coffee seedlings under field conditions and, consequently, for the formation of healthy and productive crops. Thus, the storage of coffee seeds is a great challenge for seed producers, since *Coffea arabica* L. seeds are classified as intermediate, that is, they have low longevity. Another factor that interferes with the quality of coffee seeds during storage is the production of free radicals, which are involved in several aspects of seed physiology. Its generation occurs during seed desiccation, germination and aging, which can lead to oxidative stress and cell damage, resulting in deterioration. However, the cells have an antioxidant defense enzyme system that captures free radicals and participates in the survival of the seeds. Detoxification mechanisms play a key role in completing seed germination and seed storage. Physiological conditioning is an alternative to improve the performance of seeds that present germination and vigor problems, as is the case of stored coffee seeds, since this technique has the advantages of increasing speed and uniformity in seedling emergence and seed tolerance to adverse environmental conditions and physiological stresses that cause an increase in free radical production. Therefore, the research was proposed in order to evaluate the effect of physiological conditioning on *Coffea arabica* L. seeds subjected to different conditioning solutions, through evaluations of physiological characteristics associated with enzymatic activity.

Keywords: *Coffea Arabica* L. Priming. Seeds quality.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Cafeicultura no Brasil.....	12
2.2	Proteção contra danos oxidativos em sementes.....	13
2.3	Condicionamento fisiológico de sementes de café	15
	REFERÊNCIAS	19
	CAPÍTULO 2 GERMINAÇÃO DE SEMENTES E DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE <i>COFFEA ARABICA</i> L. SUBMETIDAS AO CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO.....	26
1	INTRODUÇÃO	28
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	46

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A cultura do café (*Coffea arabica* L.) é destaque no cenário agrícola mundial e uma das *commodities* mais importantes para o Brasil em termos de produção e área cultivada. O país ocupa o primeiro lugar (CONAB, 2019), e é responsável por produzir um terço do café consumido no mundo, o que o torna um produto de grande importância social e econômica.

As mudas utilizadas na implantação de uma lavoura são obtidas por meio de sementes, o que torna indispensável o uso de material propagativo com alta qualidade fisiológica (TRUJILLO; GOMES JUNIOR; CICERO, 2019), para a obtenção de mudas vigorosas em condições de campo, e, conseqüentemente, de lavouras com elevado potencial produtivo (FRANÇA-NETO *et al.*, 2015).

Sementes de café arábica possuem um comportamento intermediário, conseqüentemente, baixa longevidade, ou seja, tem baixa capacidade de se manter viável por longos períodos durante o armazenamento e são mais sensíveis à dessecção (COELHO *et al.*, 2015; ELLIS; HONG; ROBERTS, 1990; FANTAZZINI *et al.*, 2018).

A deterioração de sementes é um processo inevitável e irreversível, vista como um conjunto de mudanças que ocorrem com o passar do tempo, e que podem prejudicar sistemas e funções vitais que resultam em uma redução no desempenho das sementes. Existem diferenças intrínsecas entre as espécies de sementes quanto à longevidade e, portanto, quanto à velocidade de deterioração das mesmas.

Um dos desafios dos produtores de sementes de café arábica é a manutenção da qualidade durante o armazenamento (ARAUJO *et al.*, 2008). Frente a este cenário, a busca por estratégias que viabilizem a conservação das sementes de café, bem como o entendimento do comportamento destas durante o armazenamento, é de grande importância.

Uma alternativa que pode auxiliar na melhora da qualidade de sementes de café é a técnica de condicionamento fisiológico, que consiste na hidratação controlada das sementes até atingir nível suficiente para ativar os processos preparatórios essenciais à germinação, sem permitir a protrusão da raiz primária (BATISTA *et al.*, 2018; PEREIRA *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2019). Em diversos trabalhos tem sido demonstrado que o vigor das sementes é o componente da qualidade fisiológica mais influenciado pelo condicionamento fisiológico, pelo fato de reduzir os danos do envelhecimento em sementes de muitas culturas (SILVA *et al.*, 2006; FAROOQ *et al.*, 2009).

Sendo assim, estudar os mecanismos fisiológicos e moleculares envolvidos em sementes de café após o processo de condicionamento fisiológico, contribui para o estabelecimento de métodos para a melhoria do vigor e possíveis soluções para o armazenamento de sementes, os quais possam garantir a oferta de sementes com alta qualidade e a produção de mudas vigorosas para a formação das lavouras cafeeiras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura no Brasil

O café é um dos principais produtos agrícolas comercializados no Brasil e no mundo, sendo considerado uma *commodity*. Além de maior produtor e exportador mundial, o país ocupa também o segundo lugar em consumo da bebida (MAPA, 2018). Considerada uma importante fonte de receita para muitos municípios do país, a cafeicultura é também um notável setor na criação de postos de trabalho na agropecuária nacional. Os expressivos desempenhos da exportação e do consumo interno conferem sustentabilidade econômica ao produtor e sua atividade.

A safra 2020/2021 de café deve atingir 49 milhões de sacas, no comparativo com a safra passada, que teve produção de 63,08 milhões de sacas, esse desempenho representa uma redução de 22,6% (CONAB, 2021). Com relação ao consumo mundial, este deverá atingir o volume físico equivalente a 167,58 milhões de sacas de 60 kg, o que representa um acréscimo de 1,9%, em comparação com o consumo registrado no ano-cafeeiro anterior, que foi de 164,43 milhões de sacas. A Organização Internacional do Café confere o incremento no consumo mundial ao aumento do consumo em casa, que acaba compensando a redução do consumo fora do lar, além do abrandamento das medidas restritivas causadas pela pandemia da Covid-19 e às perspectivas de uma recuperação da economia subsequente, além da confiança dos consumidores, fatores que têm sinalizado uma tendência positiva no consumo mundial de café.

O café também está entre os dez principais produtos na pauta de exportação brasileira, caracterizando-se, assim, como um produto relevante para a economia do país (MDIC, 2019). Segundo o último relatório realizado pelo Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ, 2021), as exportações brasileiras de café, em maio de 2021, totalizaram 2,6 milhões de sacas de 60 kg e geraram US\$ 357,6 milhões ao país. Em comparação com maio de 2020, esses valores representam uma queda de 20,3% em volume e de 13,2% em receita cambial. No entanto, mesmo um mês antes do fechamento da temporada 2020/21, o Brasil já havia batido o recorde em volume exportado durante uma safra. De julho de 2020 ao final de maio deste ano, o país remeteu 42,5 milhões de sacas ao exterior, o que representa incremento de 14,3% sobre o mesmo período anterior e supera as 41,4 milhões de sacas registradas nos 12 meses do ciclo 2018/19, até então o maior nível registrado nas remessas de café do país. De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2018), a cafeicultura brasileira é uma das mais exigentes do mundo, em relação às questões sociais e ambientais, e

há uma preocupação em garantir a produção de um café sustentável. Logo, a preservação ambiental, melhores condições de vida para os trabalhadores, melhor aproveitamento das terras, além de técnicas gerenciais mais eficientes das propriedades, com uso racional de recursos, são melhorias que vêm sendo associadas à qualidade do produto final e se tornando requisitos para o consumidor.

Dessa forma, ano a ano aumentam os investimentos em certificações e tecnologias que visam tais avanços, bem como a preocupação em adquirir sementes de alta qualidade para a produção de mudas saudáveis e vigorosas, para que o produtor possa atingir o volume, a qualidade e, conseqüentemente, os lucros esperados. O volume expressivo de cafés sustentáveis produzidos anualmente e a alta qualidade e diversidade das safras brasileiras, fazem do Brasil um fornecedor confiável e capaz de atender as necessidades dos compradores nacionais e internacionais mais exigentes.

2.2 Proteção contra danos oxidativos em sementes

Diversas condições ambientais ocasionam estresse em sementes e afetam negativamente o metabolismo, crescimento e desenvolvimento, além de causarem a deterioração e morte das mesmas quando expostas por longos períodos a tais condições. Esses estresses podem ser de natureza biótica, como quando expostas a patógenos, ou abióticos, como a restrição hídrica, salinidade, alta ou baixas temperaturas, inundação e secagem (WANG *et al.*, 2012). Além dos estresses bióticos e abióticos, condições fisiológicas de estresse, bem como a fotossíntese e a respiração, levam a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO'S). A produção de ERO's pode ocorrer durante a dessecação, germinação e envelhecimento de sementes, podendo acarretar estresse oxidativo e dano celular (WANG *et al.*, 2012).

As ERO's promovem lesões em nível molecular, sobretudo em ácidos nucleicos, proteínas e lipídios, comprometendo o metabolismo e a integridade das membranas celulares (SMITH *et al.*, 2009). São subprodutos das reações redox (KOVALCHUK, 2010), apresentando-se sob a forma de radicais livres ou moléculas. Os radicais livres mais conhecidos são o ânion superóxido (O_2^-), a radical hidroxila (OH) e o radical hidroperoxila (HO_2), enquanto que o oxigênio singlete (O_2) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) são os principais exemplos de moléculas que atuam como ERO's (D'AUTRÉAUX; TOLEDANO, 2007; BHATTACHARJEE, 2010).

O estresse oxidativo ocorre quando há um desbalanço entre a produção e a eliminação das ERO's (KIM; KWAK, 2010). Em geral, há um balanço entre geração e eliminação das

ERO's, mas ao serem submetidas a alguma situação de estresse, ocorre um desequilíbrio, implicando em seu acúmulo. Em resposta à produção excessiva de ERO'S, as plantas desenvolveram um mecanismo de defesa para remover ou minimizar seus efeitos nocivos (CHOUDHARY; KUMAR; KAUR, 2019). Esses mecanismos possuem natureza enzimática e não enzimática, encarregados da eliminação das ERO's, tanto produzidas em consequência do metabolismo normal, quanto as resultantes de qualquer situação de estresse, e são encontrados em diversos compartimentos celulares nas plantas (APEL; HIRT, 2004). Os antioxidantes não enzimáticos são capazes de solubilizar as ERO's, enquanto os sistemas enzimáticos catalisam o processo de eliminação das ERO's. Os mecanismos enzimáticos em plantas incluem, entre outras enzimas, a superóxido dismutase (SOD), a ascorbato peroxidase (APX) e a catalase (CAT) (MUNNÉ-BOSCH *et al.*, 2013).

A SOD, a primeira enzima de defesa contra danos provocados por ERO's, é responsável pela dismutação do ânion superóxido (O_2^-) produzido em diferentes locais na célula, para oxigênio molecular (O_2) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Uma vez que dismutam o O_2^- , agem indiretamente na redução do risco de formação do OH^- a partir do O_2^- (PAUL; ROYCHOUDHURY, 2017; CHOUDHARY; KUMAR; KAUR, 2019; LIU; SOUNDARARAJAN; MANIVANNAN, 2019). Em seguida, atuam a CAT e o ciclo do ascorbato-glutationa, dentre outras enzimas que são de extrema importância na neutralização do H_2O_2 , e podem atuar em paralelo, mesmo com propriedades e requisitos diferentes. A CAT viabiliza uma forma energeticamente eficiente para remoção do H_2O_2 . (SHARMA *et al.*, 2012). Em concentrações relativamente altas de H_2O_2 (mM) a atividade da CAT é muito efetiva, sendo por esse motivo, considerada indispensável para a desintoxicação de ERO's, sobretudo em condições de estresse severo, quando os níveis de H_2O_2 estão altos (DUBEY, 2011). A CAT, é uma peroxidase oxidorreductase encontrada nos peroxissomas e nos glioxissomas e que usa o peróxido como aceitador/doador de elétrons.

A APX é uma heme-proteína, da Classe I da superfamília das peroxidases, com distintas formas isoenzimáticas, diversamente reguladas. Suas isoformas podem ser encontradas no citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos (estroma e ligadas às membranas dos tilacoides) e parede celular (DABROWSKA *et al.*, 2007; DE GARA, 2004). A APX exige o ácido ascórbico como redutor e possui alta afinidade com o H_2O_2 , com uma constante de Michaelis-Menten (KM) na ordem de μM , permitindo a eliminação do H_2O_2 mesmo em baixas concentrações (LOCATO *et al.*, 2010; SHARMA *et al.*, 2012). Nos cloroplastos e mitocôndrias a APX atua no ciclo ascorbato-glutationa, no qual o H_2O_2 formado pela ação da SOD é reduzido pelo ascorbato (MITTLER, 2002; LOCATO *et al.*, 2010).

O aumento de algumas enzimas antioxidantes tem sido observado em plantas reagindo à alteração oxidativa induzida por vários tipos de condições de estresse. A manutenção da alta capacidade antioxidante para eliminar as ERO's tóxicas, tem sido associada ao aumento da tolerância das plantas as condições desfavoráveis. Os mecanismos de controle das ERO's têm sido estudados por meio de várias técnicas e para várias espécies (ZHANG *et al.*, 2010; SUZUKI *et al.*, 2011; SHARMA *et al.*, 2012; HASANUZZAMAN *et al.*, 2013). Dentre essas técnicas, está o condicionamento fisiológico de sementes, que tem se mostrado um método promissor no combate às ERO's, uma vez que aumenta a eficiência do sistema antioxidante de defesa.

2.3 Condicionamento fisiológico de sementes de café

O condicionamento fisiológico consiste em uma técnica que permite a hidratação controlada de sementes para desencadear os processos metabólicos normalmente ativados durante a fase inicial da germinação, mas impedindo a protusão radicular, sendo considerada uma técnica eficaz que permite a melhoria da qualidade de sementes (PAPARELLA *et al.*, 2015), e traz como benefícios, o aumento da rapidez e uniformidade na emergência de plântulas e a tolerância das sementes a condições ambientais adversas (GUIMARÃES *et al.*, 2008). Baseada na embebição das sementes em água, substratos umedecidos, solução osmótica ou salina, para a ativação dos processos metabólicos que ocorrem durante a germinação, essa técnica permite melhor controle do processo de embebição (ARAÚJO *et al.*, 2011).

Durante o condicionamento fisiológico, visando retirar a água superficial, as sementes passam por um processo de secagem ou podem ser imediatamente utilizadas, permitindo assim, a ocorrência das fases iniciais do processo de germinação (fases I e II), contudo, sem atingir o estado de emergência da raiz primária (fase III) (BEWLEY *et al.*, 2013). Nessa etapa, como consequência da proximidade dos potenciais hídricos do substrato e da semente, tende a ocorrer uma estabilização do conteúdo de água na semente, assim, sucede a ativação metabólica de processos pré-germinativos, onde mitocôndrias e enzimas tornam-se funcionais ocorrendo intensa digestão das reservas (GUIMARÃES *et al.*, 2008).

Segundo Marcos Filho (2005) diversos fatores estão envolvidos na eficiência do condicionamento fisiológico, como: o genótipo, o grau de deterioração da semente, o período de tratamento, a temperatura, o tamanho da semente, a velocidade de absorção de água, o grau de hidratação alcançado pelas sementes e suas partes, a aeração, a secagem após o tratamento, o número de ciclos de hidratação/secagem, as condições e o período de armazenamento.

Em trabalhos com sementes de diferentes espécies de hortaliças, foi comprovada a eficiência do condicionamento fisiológico, como pepino (LIMA; MARCOS FILHO, 2010; GURGEL JÚNIOR *et al.*, 2009), cebola (HOLBIG *et al.*, 2011), couve flor (MARCOS FILHO; KIKUTI, 2008), berinjela, melancia, melão, tomate (NASCIMENTO, 2005), cenoura (LOPES *et al.*, 2011), pimentão (SILVA *et al.*, 2015), rabanete (ASHRAF *et al.*, 2018), cebola (ZHAO *et al.*, 2018), quiabo (SHARMA *et al.*, 2014), dentre outras.

O condicionamento fisiológico tende a ser a técnica mais vantajosa pela sua simplicidade, por ser menos onerosa e não necessitar de reagentes e equipamentos sofisticados para sua execução (ARAÚJO *et al.*, 2011). Em alguns tem sido observado que a utilização de água com diferentes cargas, nitroprussiato de sódio (SNP) e ácido ascórbico (AsA) possuem resultados positivos na técnica de condicionamento fisiológico.

A água catódica, gerada por eletrólise de uma solução contendo cloreto de magnésio e cloreto de cálcio, pode exercer efeitos antioxidantes em materiais vegetais, permitindo a 'limpeza' dos radicais livres. Essa solução apresenta considerável poder redutor, que neutraliza os efeitos nocivos das espécies reativas de oxigênio, e melhora a condição fisiológica dessas sementes.

Shirahata *et al.* (1997) caracterizaram a água catódica e lançaram mão do princípio da eletrólise de Michael Faraday, postulado no período de 1791-1867. Neste princípio, ocorre o processo de redução no catodo e de oxidação no anodo, sendo essa, a base da proteção catódica. A dissociação de H_2O produz íons H^+ e OH^- . No catodo, os íons H^+ ganham elétrons e se tornam hidrogênio ativo (H). Hidrogênio ativo apresenta alto potencial redutor. No anodo, os íons OH^- perdem elétrons e formam o OH , que resulta na produção de O_2 e H_2O . A água catódica (água reduzida) é abundante em hidrogênio dissolvido, possui um alto pH (9,0-10,0), enquanto que a água anódica (água oxidada) é abundante em oxigênio dissolvido e possui pH ácido, podendo agir como um descontaminante e, aparentemente, uma potente antimicrobiano (HANAOKA *et al.*, 2004).

Segundo Shirahata *et al.* (1977; 1999) a água catódica pode penetrar em todas as membranas, em todas as partes do corpo, incluindo a barreira hematoencefálica, pode ser considerada um poderoso e ideal antioxidante em organismos vivos, elimina ERO'S, protegendo moléculas de DNA e RNA, pode suprimir o crescimento de células humanas cancerosas e a aceleração do consumo de glicose pelas células de ratos que apresentavam diabetes. Shirahata *et al.* (1999) também declararam que o 'hidrogênio ativo' pode estar presente em vários meios aquosos naturais ou artificiais.

Berjak, Sershen e Pammenter (2011) demonstraram que a utilização da água catódica proporcionou melhoria nos danos oxidativos relacionados aos procedimentos de criopreservação de espécies recalcitrantes. Neste caso, a ação da água catódica foi relatada mais provavelmente como um estimulante da atividade antioxidante endógena, do que eliminadora de radicais livres. Após essas publicações de Shirahata (1997; 1999), algumas empresas, como a Nihon Trim (Osaka, Japão), Instituto da Água (Atarashii Mizuno Kai) (Tóquio, Japão) e Hita Tenryo Sui Kabushikigaisha (Oita, Japão), dentre outras, têm desenvolvido e vendido vários produtos relacionados à produção de água catódica para a saúde, anunciaram que tais mercadorias produzem potentes ‘limpadores’ de radicais livres do organismo (HIRAOKA *et al.*, 2004).

O SNP é um composto químico de fórmula $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ que fornece óxido nítrico (ON). A aplicação de doadores de ON agem no aumento e na rapidez da germinação de sementes (ATAÍDE *et al.*, 2015; KAISER *et al.*, 2016; PIRES *et al.*, 2016), bem como no aumento da atividade de enzimas do sistema antioxidante (SILVA *et al.*, 2019).

Capaz de reduzir os efeitos do envelhecimento das sementes armazenadas (PEREIRA *et al.*, 2010), o ON também aumenta a tolerância da semente a diversos estresses abióticos, como estresse hídrico, salino e por metais pesados (SILVA *et al.*, 2015; KAISER *et al.*, 2016; PIRES *et al.*, 2016). Além disso, por apresentar propriedades antioxidantes, o estresse oxidativo provocado pelo aumento da concentração de superóxido, peróxido de hidrogênio e peróxidos de alquila, pode ser combatido pelo ON (SILVA *et al.*, 2015; PIRES *et al.*, 2016). O ácido ascórbico é um antioxidante que tem sido utilizado em pré-tratamentos para a proteção contra espécies reativas de oxigênio e na manutenção do vigor de sementes, quando essas são submetidas ao envelhecimento natural ou artificial (SANTOS *et al.*, 2014). Devido a sua atuação na defesa contra danos oxidativos, na fotossíntese e na regulação do crescimento, é considerado um metabólito importante nos vegetais (TAHER-SOULA; MOHAMMAD, 2013; AHMAD *et al.* 2013; GALLIE, 2013).

O AsA, como agente condicionante, apresenta como vantagens o fato de ser hidrossolúvel, atuar como indutor de proteínas de tolerância ao estresse, tornando a aplicação exógena indicada no combate ao estresse em sementes (MCCUE *et al.*, 2000), além de agir na proteção contra a peroxidação de lipídeos e as espécies reativas de oxigênio induzidas pelo envelhecimento (FOYER; NOCTOR, 2005). A utilização do AsA também promove a melhoria no potencial de germinação de sementes oleaginosas quando submetidas à armazenamento prolongado (DOLATABADIAN; MODARRES SANAVY, 2008) ou de sementes envelhecidas artificialmente (KRANNER *et al.*, 2006).

Brilhante *et al.* (2013), observaram que a aplicação exógena de AsA nas sementes de feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), após o envelhecimento artificial, atenua os efeitos deletérios na integridade das membranas, causados pelo envelhecimento artificial, favorecendo a qualidade fisiológica das sementes.

Múltiplos estudos com a finalidade de avaliar os benefícios do AsA no tratamento de sementes, na proteção contra estresses bióticos e abióticos, já foram desenvolvidos. Quando submetidas em níveis crescentes de salinidade, foi relatado incremento na germinação e melhoria no desenvolvimento das plântulas em campo para culturas como, batata (VENKATESH *et al.*, 2012); ervilha (BELTAGI, 2008; ALQURAINY, 2007); feijão (ALQURAINY, 2007; AZOOZ; AL-FREDAN, 2009); sorgo (ARAFA *et al.*, 2007); tabaco (SUN *et al.*, 2010); tomate (BARH *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2011). Em condições de déficit hídrico, a aplicação de AsA apresenta uma atenuação dos efeitos desse déficit em plantas de rabanete, junto a um aumento na taxa fotossintética (SANTOS *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

- ALQURAINY, F. Responses of bean and pea to vitamin C under salinity stress. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, Jordânia, v. 3, n. 6, p. 714-722, 2007.
- ARAFÁ, M.A.; KHAFAGY, M.; EL-BANNA, M. The effect of glycinebetaine or ascorbic acid on the salt-stress induced damages in sorghum plant cells. **International Journal of Botany**, Paquistão, v. 3, n. 3, p. 251-259, 2007.
- ARAÚJO, R.F. *et al.* Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despulpado e não despulpado. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 71-78, 2008.
- ARAÚJO, P.C.; TORRES, S.B.; BENEDITO, C.P.; PAIVA, E.P. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 482- 489, 2011.
- ASHRAF, R.; SULTANA, B.; RIAZ, S.; MUSTAQ, M.; IQBAL, M.; NAZIR, A.; ATIF, M.; ZAFAR, Z. Fortification of phenolics, antioxidant activities and biochemical attributes of radish root by plant leaf extract seed priming. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p.115-120, 2018.
- ATAÍDE, G.M. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 38, n. 3, p. 438-444, 2015.
- AZOOZ, M.; AL-FREDAN, M. The inductive role of vitamin C and its mode of application on growth, water status, antioxidant enzyme activities and protein patterns of *Vicia faba* L. cv. Hassawi grown under seawater irrigation. **American Journal of Plant Physiology**, Estados Unidos, v. 4, n. 1, p. 38-51, 2009.
- BARH, D.; SRIVASTAVA; MAZUMDAR. Self fruit extract and vitamin-C improves tomato seed germination. **Journal of Applied Sciences Research**, Paquistão, v. 4, n. 2, p. 156-165, 2008.
- BATISTA, T.B. *et al.* Priming of brachiaria seeds with different sugar sources and concentrations. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 843-849, 2018.
- BHATT, I.; TRIPATHI, B.N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology Advances**, India, v. 29, p. 850-859, july. 2011.
- BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. *In*: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.
- BELTAGI, M.S. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chick pea (*Cicer arietinum* L.) plants. **African Journal Plant Science**, Nigéria, v. 2, n. 10, p. 118-123, 2008.

BERJAK, P.; SERSHEN, B.V.; PAMMENTER, N.W. Cathodic amelioration of the adverse effects of oxidative stress accompanying procedures necessary for cryopreservation of embryonic axes of recalcitrant-seeded species. **Seed Science Research**, Wageningen, v. 21, n. 3, p. 187–203, Sept. 2011.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3rd ed. New York: Springer, 2013. 392 p.

BRILHANTE, J.C.A.; OLIVEIRA, A.B.; SILVA, J.W.L.; ENÉAS-FILHO, J. Ação do ácido ascórbico exógeno na qualidade fisiológica de sementes de feijão de corda envelhecidas artificialmente. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 985-994, maio/jun. 2013.

CECAFÉ. Conselho Dos Exportadores de Café do Brasil. **Relatório de Exportações**. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>. Acesso em: 14 abr. 2021.

CHOUDHARY, A.; KUMAR, A.; KAUR, N. ROS and oxidative burst: Roots in plant development. **Plant Diversity**, Beijing, v. 28, n. 42, p. 33-43, 2019.

COELHO, S.V.B. *et al.* Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café secas em sílica gel e soluções salinas saturadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 6, p. 483-491, jun. 2015.

CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira, café: quarto levantamento, janeiro/2019**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/caffe>. Acesso em: 20 abr. 2021.

D'AUTRÉAUX, B.; TOLEDANO, M.B. ROS as signaling molecules: mechanisms that generate specificity in ROS homeostasis. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, [s.l.], v. 8, p. 813-824, 2007.

DABROWSKA, G. *et al.* Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia**, [s.l.], v. 49, n. 1, p. 7-17, 2007.

DE GARA, L. Class III peroxidases and ascorbate metabolism in plants. **Phytochemistry Reviews**, [s.l.], v. 3, n. 1-2, p. 195-205. 2004.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 109, p. 212-228, 2015.

DINAKAR, C. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, [s.l.], v. 182, p. 29-41, 2012.

DOLATABADIAN, A.; MODARRES SANAVY, S.A.M. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici ClujNapoca**, Romênia, v. 36, n. 2, p. 61-66, 2008.

- DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. *In*: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. Chap.9. p.178-203.
- ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behavior?: I., coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, n. 230, p. 1167-1174, 1990.
- FANTAZZINI, T.B. *et al.* Associação entre o teste de envelhecimento artificial e o armazenamento natural de sementes de café. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 164-172, jun. 2018.
- FAROOQ, M. *et al.* Improving of drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [s.l.], v. 195, p. 237-246, 2009.
- FRANÇANETO, J.B. *et al.* Padrões de Qualidade de Sementes no Brasil: A Importância do Uso de Sementes de Soja de Alta Qualidade e os seus Efeitos sobre a Produtividade. **Informativo ABRATES**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 27, 2015.
- FOYER, C.; NOCTOR, G. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. **The Plant Cell**, Estados Unidos, v. 17, n. 7, p. 1866-875, 2005.
- GALLIE, D. R. Ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development. **Scientifica**, New York, v. 2003, n. 1, p. 1-24, 2013.
- GUIMARÃES, M.A.; DIAS, D.C.F.S.; LOUREIRO, M.E. Hidratação de sementes. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadina, v. 2, n.1, p.31-39. 2008.
- GURGEL JÚNIOR, F.E.; TORRES, S.B.; OLIVEIRA, F.N.; NUNES, T.A. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 163-168.
- HANAOKA, K. *et al.* The mechanism of enhanced antioxidant effects against superoxide anion radicals of reduced water produced by electrolysis. **Biophysical Chemistry**, Amsterdam, v. 107, n. 1, p. 71-82, jan. 2004.
- HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M.M.; ROYCHOWDHURY, R.; FUJITA, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 9643-9684, 2013.
- HIRAOKA, A. *et al.* Studies on the properties and real existence of aqueous solution systems that are assumed to have antioxidant activities by the action of 'active hydrogen'. **Journal of Health Science**, Tokyo, v. 50, n. 5, p. 456-465, 2004.
- HOLBIG, L.S.; BAUDET, L.; VILLELA, F.A. Hidrocondicionamento de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 171- 176, 2011.
- KAISER, I.S. *et al.* Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 1, p. 39-45, 2016.

- KAYIHAN, C. *et al.* Cu/Zn superoxide dismutase activity and respective gene expression during cold acclimation and freezing stress in barley cultivars. **Biologia plantarum**, [s.l.], v. 56, n. 4, p. 693-698, dec. 2012.
- KIKUTI, A.L.P. *et al.* Application of antioxidant on coffee seeds (*Coffea arabica* L.) Aiming at quality preservation. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 26, n. 4, p. 663–672, 2002.
- KIKUTI A.L.P; MARCOS FILHO J. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 27, p. 240-245, 2009.
- KIM, Y.H.; KWAK, S.S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. *In*: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 129-150.
- KOVALCHUK, I. Multiple roles of radicals in plants. *In*: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 31-44.
- KRANNER, I; BIRTIC, S.; ANDERSON, K.; PRITCHARD, H. Glutathione half-cell reduction potencial: a universal stress marker and modulator of programmed cell death? **Free Radical Biology & Medicine**, Holanda, v. 40, n. 12, p. 2155-2165, 2006.
- LIMA, L.B.; MARCOS FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino e germinação sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.1, p.138- 147, 2010.
- LIU, B.; SOUNDARARAJAN, P.; MANIVANNAN, A. Mechanisms of Silicon-Mediated Amelioration of Salt Stress in Plants. **Plants**, Basel, v. 8, p. 307, 2019.
- LOCATO, V. *et al.* Reactive oxygen species and ascorbate- glutathione interplay in signaling and stress responses. *In*: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 45-64.
- LOPES, H.M. *et al.* Condicionamento fisiológico de sementes de cenoura e pimentão. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 3-4, p. 296-302, 2011.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafes/cafecultura-brasileira>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. v 12. 495 p.
- MARCOS FILHO, J; KIKUTI, A.L.P. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor e desempenho das plantas em campo. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 26, n. 2, p. 165-169. 2008.
- MCDONALD, M.B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 531-539, 1999.

MCCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J.; SHETTY, K. Model for enhanced pea seedling vigour following low pH and salicylic acid treatments. **Processes Biochemistry**, Reino Unido, v. 35, n. 6, p. 603-613, 2000.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, [s.l.], v. 9, p. 405-410, 2002.

MUNNÉ-BOSCH, S.; QUEVAL, G; FOYER, C.H. The Impact of Global Change Factors on Redox Signaling Underpinning Stress Tolerance. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 161, p. 5-19, 2013.

NASCIMENTO, W.M. **Tecnologia de sementes de hortaliças**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. 432 p.

OIC. Organização Internacional do Café. **Relatório sobre o mercado de café maio 2021**. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0521-p.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

PAPARELLA, S.; ARAÚJO, S.S.; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 34, n. 8, p.1281-1293, 2015.

PAUL, S.; ROYCHOUDHURY, A. Seed priming with spermine and spermidine regulates the expression of diverse groups of abiotic stress-responsive genes during salinity stress in the seedlings of indica rice varieties. **Plant Gene**, Kidlington v. 11, p. 124-132, 2017.

PEREIRA, B.L.C. *et al.* Influência do óxido nítrico na germinação de sementes de *Plathymenia reticulata* Benth com baixo vigor. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 629-636, 2010.

PEREIRA, S.R. *et al.* Priming of *Urochloa brizantha* cv. Xaraés seeds. **African Journal of Agriculture Research**, Pretoria, v. 13, n.1, p. 2804-2807, 2018.

PIRES, R. *et al.* Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by cadmium. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n.1, p. 022-029, 2016.

RIBEIRO, E.C.G. *et al.* Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, 2019.

RICALDONI, M.A. **Ação antioxidante da água catódica: estudos preliminares em sementes de café**. 2016. 22 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SANTOS HCA; GUISTEM JM; SILVA ALS; REIS LCF; SANTOS FN. Efeito de tratamento de sementes com ácido ascórbico no vigor de sementes e plântulas de melancia. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 31, p. S3502- S3509, 2014.

SANTOS, O.F.dos; BROETTO, F.; OLIVEIRA, D.P.F.de; GALVÃO, I.M.; SOUZA, M.L.C. de; BASÍLIO, J.J.N. Ácido ascórbico, uma alternativa para minimizar os efeitos da deficiência hídrica em rabanete. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 79-91, 2018.

SERKEDJIEVA, J. Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. *In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants*. Enfield: Science Publishers, 2011. Chap.13. p.275-293.

SHARMA, P.; JHA, A.B.; DUBEY, R.S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, [s.l.], p. 1-26, 2012.

SHARMA, A.D.; RATHORE, S.V S.; SRINIVASAN, K.; TYAGI, R.K. Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 165, n. 1, p.75-81, 2014.

SHIRAHATA, S. *et al.* Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Martinsried, v. 234, n. 1, p. 269–274, May 1997.

SHIRAHATA, S. Medical treatment and water, Oxygen-radical scavenging activity and inhibition of growth of cancer cells by electrolyzed-reduced water (in Japanese). *In: Science and Application Technology of Functional Water (in Japanese)*. Water Science Association (Water Science Kenkyukai), Osaka, 1999a, p. 137–138.

SILVA, J.B da; RODRIGUES, T. de J.D.; VIEIRA, R.D. Desempenho de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais osmóticos em polietilenoglicol. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 36, n. 5, p. 1634-1637, 2006.

SILVA, C.B.; MARCOS FILHO, J.; JOURDAN, P.; BENETT, M. Performance of bell pepper seeds in response to drum priming with addition of 24-epibrassinolide. **Hortscience**, Alexandria, v. 50, n. 6, p.873–878, 2015.

SILVA, A.L.D. *et al.* Effect of cyanide by sodium nitroprusside (SNP) application on germination, antioxidative system and lipid peroxidation of *Senna macranthera* seeds under saline stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 41, n. 1, p. 86-96, 2019.

SMITH, A.M.; COUPLAND, G.; DOLAN, L.; HARBERD, N.; JONES, J.; MARTIN, C.; SABLONSKI, R.; AMEY, A. **Plant Biology**. Garland Science, 2009. p. 679.

SUN, W-H.; DUAN, M; DEFENG, S.; YANG, S. Overexpression of StAPX in tobacco improves seed germination and increases early seedling tolerance to salinity and osmotic stresses. **Plant Cell Reports**, Alemanha, v. 29, n. 8, p. 917-926, 2010.

SUZUKI, N.; KOUSSEVITZKY, S.H.A.I.; MITTLER, R.O.N.; MILLER, G.A.D. ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. **Plant, Cell & Environment**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 259-270, 2011.

TRUJILLO, H.A.; GOMES JUNIOR, F.G; CICERO, S.M. Imagens digitais de mudas para avaliação do vigor de sementes de café. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 41, n. 1, p. 60-68, 2019.

VENKATESH, J; UPADHYAYA, C.P.; YU, J-W.; HEMAVATHI, A.; KIM, D.H; STRASSER, R.; PARK, S.W. Chlorophyll a fluorescence transient analysis of transgenic potato overexpressing D-galacturonic acid reductase gene for salinity stress tolerance. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, Coréia do Sul, v. 53, n. 4, p. 320-328, 2012.

WALTERS, C.; BALLESTEROS, D.; VERTUCCI, V.A. Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time. **Plant Science**, [s.l.], v. 179, p. 565-573, 2010.

WANG, L. *et al.* Comparative proteomics analysis reveals the mechanism of pre-harvest seed deterioration of soybean under high temperature and humidity stress. **Jornal of proteomics**, China, v. 75, p. 2109-2127, january. 2012.

ZHANG, Y.; YANG, L.; ZU, Y.; CHEN, X.; WANG, F.; LIU, F. Oxidative stability of sunflower oil supplemented with carnosic acid compared with synthetic antioxidants during accelerated storage. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 118, n. 3, p. 656-662, 2010.

ZHAO, Y.; HU, M.; GAO, Z.; CHEN, X.; HUANG, D. Biological mechanisms of a novel hydro-electro hybrid priming recovers potential vigor of onion seeds. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 150, n. 1, p. 160-171, 2018.

CAPÍTULO 2 GERMINAÇÃO DE SEMENTES E DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE *COFFEA ARABICA* L. SUBMETIDAS AO CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO

RESUMO

A qualidade fisiológica de sementes é um conjunto de atributos que determinam o desempenho das sementes em campo. Esses atributos são fisiológicos, físicos, genéticos e sanitários. O condicionamento fisiológico é uma técnica de embebição controlada de sementes que permite uma maior rapidez e uniformidade na emergência de plântulas, bem como a tolerância das sementes a condições ambientais adversas e estresses fisiológicos que causam um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio, que contribuem com a aceleração da deterioração das sementes. No entanto, as plantas possuem um sistema antioxidante de defesa que atua em equilíbrio com os radicais livres, neutralizando-os. Dessa forma, o objetivo neste trabalho foi avaliar o efeito do condicionamento fisiológico em sementes de *Coffea arabica* L. submetidas às diferentes soluções condicionantes, por meio de avaliações de características fisiológicas e atividade enzimática. Sementes de *Coffea arabica* da cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 foram submetidas ao condicionamento em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 5x3, sendo cinco soluções condicionantes e três teores de água. As sementes foram submetidas ao condicionamento fisiológico por 7 dias em água destilada, água catódica e anódica, ácido ascórbico e nitroprussiato de sódio. Determinou-se: teor de água; germinação; primeira contagem da germinação; folhas cotiledonares aos 45 dias; condutividade elétrica; emergência de plântulas; índice de velocidade de emergência; matéria seca de plântulas; desenvolvimento de plântulas por análise de imagens e atividade das enzimas catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase. O condicionamento fisiológico, independente do agente condicionante, não é eficaz para sementes de café com teor de água de 12%, após oito meses de armazenamento. O condicionamento fisiológico em soluções de ácido ascórbico e nitroprussiato de sódio aumenta a expressão do vigor de sementes de café, após oito meses de armazenamento, se estas estiverem com teor de água igual a 35%. Maiores atividades da enzima SOD está relacionada à maior qualidade fisiológica das sementes de café. Maiores atividades das enzimas CAT e APX estão relacionadas a maior qualidade quando as sementes de café estão a 35% de teor de água.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Priming. Enzimas antioxidantes.

ABSTRACT

The physiological quality of seeds is a set of attributes that determine the performance of seeds in the field, these attributes are physiological, physical, genetic and sanitary. Physiological conditioning is a technique of controlled seed imbibition that allows for greater speed and uniformity in the emergence of seedlings, as well as the tolerance of seeds to adverse environmental conditions and physiological stresses that cause an increase in the production of reactive oxygen species, which contribute to accelerating seed deterioration. However, plants have an antioxidant defense system that works in balance with free radicals, neutralizing them. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of physiological conditioning on *Coffea arabica* L. seeds were subjected to different conditioning solutions, through evaluations of physiological characteristics and enzymatic activity. *Coffea arabica* seeds of the cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 were subjected to conditioning in a completely randomized design, with four replications, in a 5x3 factorial arrangement, with five conditioning solutions and three water contents. Seeds were subjected to physiological conditioning for 7 days in distilled water, cathodic and anodic water, ascorbic acid and sodium nitroprusside. It was determined: water content; germination; first germination count; cotyledon leaves at 45 days; electric conductivity; seedling emergence; emergence speed index; seedling dry matter, development of seedlings by image analysis and activity of the enzymes catalase, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. Physiological conditioning, regardless of the conditioning agent, is not effective for coffee seeds with 12% water content, after eight months of storage. Physiological conditioning in ascorbic acid and sodium nitroprusside solutions increases the expression of the vigor of coffee seeds, after eight months of storage, if they have a water content equal to or greater than 35%. The physiological quality of coffee seeds is altered as a function of water content and after eight months of storage. Higher SOD enzyme activities are related to the higher physiological quality of coffee seeds. Higher CAT and APX enzyme activities are then related to higher quality when coffee seeds are at 35% water content.

Key-words: *Coffea arabica* L. Priming. Antioxidant system.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade fisiológica de sementes, pode ser definida como um conjunto de atributos que determinam o desempenho das sementes em campo. São atributos fisiológicos, físicos, genéticos e sanitários que devem estar em equilíbrio para que seja possível o estabelecimento de lavouras uniformes, produtivas e vigorosas.

O condicionamento fisiológico, também conhecido como priming, é um tratamento pré-semeadura que tem como finalidade aumentar a velocidade e a uniformidade da germinação de sementes. Essa técnica tem apresentado resultados positivos em sementes, com melhorias na capacidade de germinação, maior uniformidade e vigor das sementes e sua aplicação se estende para diversas espécies (ARMONDES *et al.*, 2016; RUTTANARUANGBOWORN *et al.*, 2017; ABID *et al.*, 2018; ARIF *et al.*, 2014). Além das vantagens já conhecidas do condicionamento fisiológico, outro benefício citado na literatura é o aumento da eficiência do sistema antioxidante de defesa das sementes (ZHENG *et al.*, 2016; YAN, 2017; WANG *et al.*, 2018).

A utilização de água com diferentes cargas, catódica e anódica, pode proporcionar um meio não-tóxico de melhoria de danos oxidativos relacionados aos estresses, danos e degradação celular, juntamente com uma atividade fortemente fungicida da fração ácida da solução (RICALDONI, 2016).

A fração catódica (reduzida) de uma solução aquosa de eletrólitos possui uma propriedade direta antioxidante, sem a necessidade de aplicação de quaisquer outros compostos (RICALDONI, 2016). Em estudos sobre a eficiência da água catódica como agente protetor contra os efeitos da dessecação de eixos embrionários das espécies recalcitrantes *Strychnos gerrardii* e *Boopane distich*, durante as etapas da criopreservação (BERJAK; SERSHEN; PAMMENTER, 2011), observou-se que a água catódica é um provável estimulante da atividade antioxidante endógena, melhorando os possíveis danos oxidativos relacionados aos procedimentos de criopreservação. Em trabalho realizado em sementes de café também foi observado este efeito positivo da água catódica na viabilidade dos embriões em alguns tratamentos, provavelmente pela ação antioxidante da água catódica durante a embebição das sementes (RICALDONI, 2016).

O óxido nítrico (ON) é uma molécula que atua como sinalizador nos vegetais e os estudos acerca de suas funções nos processos fisiológicos das plantas indicam que o mesmo está envolvido na regulação do crescimento e desenvolvimento da planta, na defesa contra patógeno e nas respostas ao estresse abiótico (SANZ *et al.*, 2015), sendo que na maioria dos

casos, a resposta ao estresse é produto da sua interação com fitohormônios (FAN *et al.*, 2014; DU *et al.*, 2015; SANZ *et al.*, 2015).

De acordo com Pereira *et al.* (2010) tais substâncias atuam na permeabilidade da membrana, e podem evitar ou reverter danos causados pelas condições de elevada temperatura e umidade, as quais reduzem o vigor das sementes. Assim, sua influência nas alterações fisiológicas e bioquímicas decorrentes do envelhecimento das sementes, bem como formas viáveis de aumentar as taxas de germinação das sementes, são um novo campo de estudos da biologia vegetal, visto que os liberadores de ON aumentam a atividade de enzimas antioxidantes, em especial as peroxidases, a superóxido dismutase e a catalase, que minimizam o estresse oxidativo provocado por fatores abióticos.

O ácido ascórbico (AsA) é constituinte essencial dos vegetais principalmente em tecidos em crescimento e tem função controlar a divisão e expansão celular, atuando na biossíntese de hormônios, reativação de enzimas antioxidantes, estando também envolvido nos processos de fotossíntese e respiração (GALLIE, 2013). Dessa forma, possui papel significativo na primeira fase da germinação e, conseqüentemente, tem sido bastante estudado. Segundo McCue *et al.* (2000), o AsA é um regulador de crescimento e aumenta o vigor de sementes com a sua aplicação exógena. Tommasi *et al.* (2011), sugerem que o AsA possui relação direta no processo responsável pelo redirecionamento das substâncias de reserva disponível para a germinação do embrião. Em estudos realizados com sementes de chicória foi constatada a eficácia do condicionamento fisiológico com AsA, quanto a porcentagem de germinação e crescimento de mudas, assim como para tolerância ao estresse hídrico (SADEGI; ROBATI, 2015).

Diferentes trabalhos foram realizados utilizando-se a técnica de condicionamento fisiológico na busca por um aumento do potencial de germinativo de sementes de café, avaliando, principalmente, a temperatura e o tempo de condicionamento fisiológico, a fim de determinar uma metodologia efetiva (CAMARGO, 1998; LIMA, 1999; LIMA, 2004; BRAZ; ROSSETTO, 2008; CARVALHO *et al.*, 2012; GUIMARÃES, 2000; SGUAREZI *et al.*, 2001; KIKUTI *et al.*, 2013; CARVALHO; ALMEIDA; GUIMARÃES, 2014). Todavia, ainda são incipientes os estudos com sementes de café que visam avaliar o uso da técnica de condicionamento fisiológico como ferramenta para aplicação de moléculas exógenas, em comparação a água com diferentes cargas elétricas em sementes armazenadas com diferentes teores de água. Diante disso, o objetivo neste trabalho foi avaliar a influência do condicionamento fisiológico na qualidade de sementes de café armazenadas condicionadas em diferentes soluções.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal de Lavras (UFLA), e as análises foram realizadas no Laboratório Central de Pesquisas em Sementes - LCPS da UFLA. Foram utilizadas sementes de café da cultivar Catuaí Amarelo IAC 62, produzidas pela empresa Fazenda Bom Jardim, localizada no município de Bom Sucesso e colhidas na safra 2018. Localizada a 35 km a Norte-Leste de Lavras a maior cidade nos arredores, Bom Sucesso está situada a 930 metros de altitude, e tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 21° 2' 1" Sul, Longitude: 44° 45' 9" Oeste.

As sementes foram armazenadas em condição de câmara fria à temperatura média de 10 °C e umidade relativa média de 50%.

Após a avaliação inicial, foi determinado o teor de água inicial das sementes pelo método de estufa a 105 °C, durante 24 horas (BRASIL, 2009), com duas repetições de 10 sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem com base no peso seco das sementes. Em seguida as sementes foram submetidas à secagem rápida, utilizando sílica gel. A secagem rápida foi realizada colocando-se as sementes com o teor de água inicial de (43% bu), em recipientes herméticos, juntamente com 60 gramas de sílica gel ativada, que foram colocados em câmaras B.O.D (*Biochemical Oxygen Demand*) reguladas à 25 °C, na ausência de luz. A perda de água durante a secagem foi monitorada até as amostras atingirem os teores de água de 12% e 35%.

Para a realização da técnica de condicionamento fisiológico foi necessário a obtenção dos agentes condicionantes. A água catódica e anódica foi produzida segundo metodologia descrita por Berjak, Sershen e Pammenter (2011), com modificações: solução contendo como eletrólitos 0,5 mM $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e 0,5 mM $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, foi eletrolisada aplicando uma diferença de potencial de 60 V, utilizando cuba própria para corrida eletroforética. O conteúdo da solução foi dividido em duas porções iguais e a eletrólise foi realizada durante 1 hora, em temperatura ambiente, produzindo 500 ml de água anódica (oxidada) com pH próximo a 3-4, e 500 ml de água catódica (reduzida) com pH próximo a 11-12. O circuito foi completado utilizando-se uma ponte salina à base de ágar contendo cloreto de potássio.

Para as soluções de nitroprussiato de sódio e ácido ascórbico, foram diluídos em 1 litro de água destilada, 29 mg e 75 mg, respectivamente.

As sementes sem pergaminho foram condicionadas em água destilada, água catódica, água anódica, solução de nitroprussiato de sódio e solução de ácido ascórbico.

A imersão foi realizada em erlenmeyers, contendo 500 sementes com 250 mL de cada

solução condicionante, sendo que cada erlenmeyer estava acoplado às mangueiras que permitiram a aeração das soluções contendo as sementes. Os erlenmeyers foram dispostos em BOD a 25 °C por 7 dias.

Após o condicionamento, as sementes foram lavadas em água corrente, o excesso de água foi retirado e foram realizados os testes fisiológicos.

O teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento, semeadas em rolos de papel tipo ‘germitest’ umedecidos com água destilada na quantidade de duas vezes e meia o peso do papel seco. Os rolos de papel contendo as sementes foram acondicionados em germinador, regulado a 30 °C, na presença de luz (BRASIL, 2009). Foi determinada a porcentagem de protrusão radicular e de plântulas normais aos 15 dias após semeadura, em que foram computadas as sementes que apresentavam raiz principal e pelo menos duas raízes laterais saudáveis e normais; e a porcentagem de plântulas normais aos 30 dias após semeadura. No teste de germinação foram também determinadas: a porcentagem de plântulas normais fortes e fracas, sendo computadas como fortes aquelas que apresentaram alça hipocotiledonar com três centímetros ou mais, e fracas as que se encontraram abaixo deste padrão; e a porcentagem de plântulas com folhas cotiledonares expandidas e massa seca de plântulas aos 45 dias.

Ao final do teste de germinação, nas plântulas normais, a parte aérea foi separada da raiz com auxílio de um bisturi, colocadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar à 60 °C por 4 a 5 dias ou até deter massa constante. A massa seca foi determinada em balança de precisão.

O teste de condutividade elétrica foi realizado em quatro repetições, pesando-se 25 sementes, colocadas em copos plásticos juntamente com 50 ml de água deionizada, sendo levadas à BOD em temperatura de 25 °C por 24 horas. A leitura foi realizada após imersão dos eletrodos na água de embebição, sendo os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Utilizou-se para o cálculo a seguinte fórmula:

$$\text{CE} = (\text{CE solução} - \text{CE água}) / \text{Peso (g)} \quad (1)$$

O teste de emergência de plântulas foi realizado em substrato areia: solo na proporção volumétrica de 1:1, utilizando-se 25 sementes por repetição, para cada tratamento, em 4 repetições. Na avaliação, realizada a cada três dias entre a instalação do teste de emergência deste, foram consideradas as plântulas que emergiram completamente os cotilédones. Para o

cálculo do Índice de Velocidade de Emergência (IVE) foi empregada a equação proposta por Maguire (1962). Foram consideradas, para o cálculo em porcentagem, o total de plântulas emersas na avaliação da velocidade de emergência até os sessenta dias, após a estabilização dos valores de emergência.

Para a determinação do desenvolvimento das plântulas, a captura das imagens foi realizada por meio do sistema GroundEye, versão S800, composto por um módulo de captação que possui uma bandeja de acrílico e uma câmera de alta resolução e um software integrado para avaliação. Foram utilizadas dez plântulas de cada tratamento provenientes do teste de germinação as quais foram inseridas na bandeja do módulo de captação para a obtenção de imagens de alta resolução. Na configuração da análise para a calibração da cor de fundo foi utilizado o modelo de cor CIELab com índice de luminosidade de 0 a 100, dimensão 'a' -13,9 a 46,1 e dimensão 'b' de -57,1 a -40,6. Depois da calibração da cor do fundo foi realizada a análise das imagens.

Para a análise das imagens foram extraídos valores médios das características das plântulas como o comprimento da raiz (CR), comprimento do hipocótilo (CH), comprimento da plântula (CP), razão do comprimento da raiz pelo comprimento do hipocótilo (CR/CH). Para as análises fisiológicas das sementes foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 5x3, sendo cinco soluções condicionantes, três teores de água. Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando o software Sisvar® (FERREIRA, 2011) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por meio da técnica de espectrofotometria para analisar as enzimas CAT, SOD e APX, as sementes foram maceradas na presença de polivinilpirrolidona e nitrogênio líquido e, posteriormente, as amostras foram armazenadas em ultrafreezer na temperatura de -86 °C.

Para a extração das enzimas foram utilizados 0,050 g de cada material e adicionados 1,5 ml do tampão de extração (em cada microtubo) contendo 1452 µL de fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), 15 µL de EDTA 100 mM, 15 µL de ácido ascórbico 100 mM, 6 23 µL de DTT 500 mM e 12 µL de PMSF. O material foi homogeneizado em vortex, seguido de centrifugação a 14.000 rpm a 4 °C por 20 minutos. Em seguida, foi coletado o sobrenadante e transferido para outro microtubo (aproximadamente 1000 µL).

A atividade da enzima SOD foi avaliada em espectrofotômetro de microplacas, utilizando-se microplacas visíveis e foi avaliada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT). Foi utilizada uma alíquota de 5 µL do sobrenadante. Foram adicionados 195 µL da solução de incubação contendo 100 µL de fosfato

de potássio 100 mM (pH 7,8), 40 μ L de metionina 70mM, 3 μ L de EDTA 10 μ M, 35 μ L de água destilada, 15 μ L de NBT 1 mM e 2 μ L de riboflavina 0,2 mM. A placa de acrílico visível, contendo o meio de incubação e a amostra, foi iluminada com lâmpada fluorescente por 7 minutos antes da leitura. A leitura foi realizada a 560 nm.

As atividades das enzimas CAT e APX foram avaliadas por meio do espectrofotômetro de microplacas, utilizando microplacas ultravioletas. Foi utilizada uma alíquota de 5 μ L do sobrenadante. Foi adicionado 195 μ L da solução de incubação contendo 100 μ L de fosfato de potássio 200 mM (pH 7,0), 85 μ L de água destilada. O mix de incubação foi colocado em B.O.D. a 28 °C, e, por último, adicionados 10 μ L peróxido de hidrogênio 250 mM. A leitura foi realizada na absorvância de 240 nm de 15 em 15 segundos durante 3 minutos. O coeficiente de extinção molar utilizado foi de 18 mM⁻¹.cm⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Logo após a colheita, em julho de 2018, as sementes apresentavam germinação de 93%, e após oito meses de armazenamento estas foram reanalisadas pelo Laboratório Central de Pesquisa em Sementes - LCPS/UFLA, credenciado no RENASEM sob o nº MG 01311/2006, e a germinação foi de 80% e teor de água de 43%.

Com relação ao teste de primeira contagem de germinação, para as sementes com 12% de teor de água, maiores resultados foram observados naquelas condicionadas com SNP e menores resultados nas sementes condicionadas em água catódica e anódica, já para os demais teores de água, não houve diferença significativa entre as soluções condicionantes.

Ataíde *et al.* (2015), trabalhando com sementes de *Dalbergia Nigra* de baixo vigor, verificaram que a aplicação de SNP aumentou a germinação e o vigor, e esse estudo valida os resultados encontrados para primeira contagem de germinação (TABELA 1). Ressalta-se que esse teste está associado à germinação, contudo, expressa o vigor das sementes. Ao comparar os resultados entre os teores de água, observa-se que sementes com 43% de teor de água, condicionadas AsA e água catódica, não diferiram estatisticamente das sementes com 35% de teor de água condicionadas nas mesmas soluções condicionantes.

Quanto a porcentagem de germinação aos 30 dias, para as sementes com 12% de teor de água, os resultados foram semelhantes aos encontrados no teste de primeira contagem de germinação. Para os demais teores de água, também não houve diferença significativa. Vilela *et al.* (2021) trabalhando com sementes de café imersas em água catódica e anódica, observaram que a germinação aumentou até o tempo de embebição de 24 horas, indicando melhora na qualidade fisiológica das sementes de café quando embebidas, no entanto, a qualidade diminuiu com 36 horas. Esse fato explica os menores resultados encontrados em sementes condicionadas em água catódica e anódica, visto que o tempo de embebição foi de 7 dias.

Ao analisar a porcentagem de folhas cotiledonares aos 45 dias, os resultados encontrados para sementes com 12% de teor de água se assemelham aos encontrados nos testes de germinação e primeira contagem e germinação. Em sementes com 35% de teor de água, condicionadas em soluções de AsA e SNP, os resultados foram superiores aos demais condicionantes. Em estudos realizados por Santos *et al.* (2016), observou-se que a embebição das sementes de melancia em solução de ácido ascórbico houve ganhos na germinação, no número de plântulas normais, na matéria fresca e comprimentos total de raiz e plântulas, com papel significativo na fase da germinação e desenvolvimento inicial das plântulas. Maior

germinação e vigor em sementes de arroz tratadas com ácido ascórbico também foram observadas (BASRA *et al.*, 2006).

Kaiser *et al.* (2016), ao trabalharem com sementes de repolho, em condições de estresse salino e tratadas com solução SNP na concentração de 0,01 mmol L, observaram que os valores de germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação diferiram em outras concentrações, sugerindo que esta concentração do liberador SNP auxiliou na reversão e/ou minimização dos efeitos negativos da salinidade na fase de germinação das sementes e desenvolvimento inicial das plântulas. Ainda assim, é importante ressaltar que as concentrações de ON que promovem a germinação, variam conforme a espécie e o liberador utilizado. Não houve diferença significativa quanto as soluções condicionantes para as sementes com 43% de teor de água.

Em trabalhos realizados por Penido *et al.* (2019) com sementes de café hidrocondicionadas, foi observado que sementes úmidas condicionadas mantiveram elevada porcentagem de plântulas com folhas cotiledonares expandidas ao longo do período de nove meses de armazenamento, mostrando que a técnica permite a manutenção do vigor das sementes. No entanto, sementes secas condicionadas tiveram os menores valores de plântulas com folhas cotiledonares expandidas, mostrando o efeito negativo da utilização da técnica em sementes secas.

Esses resultados corroboram com os encontrados entre os diferentes teores de água, para os testes de germinação e folhas cotiledonares aos 45 dias, nos quais verificou-se que em sementes secadas até 35% de teor de água os valores foram superiores, inclusive quando comparadas às sementes que não passaram pelo processo de secagem, em sementes com 12% de teor de água observou-se valores inferiores, evidenciando que o condicionamento fisiológico não é efetivo em sementes com baixos teores de água.

Tabela 1 - Porcentagem média de plântulas normais aos 15 e 30 dias e folhas cotiledonares expandidas aos 45 dias, provenientes de sementes de café com diferentes teores de água e submetidas ao condicionamento fisiológico com diferentes condicionantes.

Condicionante	Primeira contagem da germinação 15 dias (%)		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	12 Cc	78 Aa	59 Ab
Ac. Ascórbico	29 Bb	74 Aa	68 Aa
Catódica	16 Cb	70 Aa	60 Aa
H2O	23 Bc	79 Aa	65 Ab
SNP	46 Ac	82 Aa	58 Ab
CV		15,04	
Condicionante	Germinação 30 dias (%)		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	14 Cc	80 Aa	63 Ab
Ac. Ascórbico	33 Bc	84 Aa	75 Ab
Catódica	18 Cc	76 Aa	64 Ab
H2O	28 Bc	85 Aa	67 Ab
SNP	50 Ac	90 Aa	62 Ab
CV		13,01	
Condicionante	Folhas cotiledonares expandidas aos 45 dias (%)		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	15 Cc	84 Ba	64 Ab
Ac. Ascórbico	34 Bc	94 Aa	78 Ab
Catódica	18 Cc	89 Ba	68 Ab
H2O	25 Bc	85 Ba	72 Ab
SNP	50 Ac	96 Aa	68 Ab
CV		14,06	

As médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna para cada época de armazenamento e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2021).

Ao avaliar o teste de emergência aos 45 dias (TABELA 2), não houve diferença significativa entre os agentes condicionantes para sementes com 12% de teor de água. Para sementes com 35% de teor de água, maior valor foi observado para aquelas condicionadas com a solução de SNP, já para as sementes com 43% de teor de água, verificou-se maiores valores em sementes condicionadas com água anódica, água destilada e AsA e menor valor em sementes condicionadas em água catódica. Quanto aos teores de água, 12% e 35% observou-se resultados inferiores e superiores, respectivamente.

Para a emergência final, aos 60 dias, os valores encontrados para os diferentes condicionantes em sementes com 12% de teor de água, não diferiram estatisticamente. Verificou-se que, em sementes com 35% de teor de água, quando condicionadas em SNP, liberador de óxido nítrico, observou-se os maiores resultados e sementes embebidas em água

catódica, menores resultados de emergência. Song *et al.* (2009) ao trabalharem com sementes de *Suaeda salsa*, observaram que o aumento na concentração de ON não estimulou a emergência de plântulas e a produção de massa seca da parte aérea, para os tratamentos das sementes com e sem salinidade. Para o teor de água de 43%, destaca-se que emergência final para o condicionamento em água catódica foi menor em relação aos demais. As sementes embebidas em AsA não diferiram estatisticamente quanto aos teores de água de 35% e 43%. Para o IVE, não houve diferença significativa para sementes com 12% de teor de água. Menores índices foram observados em sementes com 35% de teor de água condicionadas em água catódica e anódica e em sementes com 43% de teor de água condicionadas em água catódica.

Sementes de café são classificadas como intermediárias, em razão da sua alta sensibilidade à dessecação e baixa longevidade. Estudos indicam que as sementes sobrevivem por aproximadamente doze meses, quando armazenadas em temperatura de 15 °C, após secagem até aproximadamente 10%, tendo apresentado redução na germinação com progressivas reduções no teor de água e na temperatura de armazenamento (ELLIS *et al.*, 1990; 1991; HONG; ELLIS, 1995; EIRA *et al.*, 1999). Diante disso, os resultados de sementes secadas até 12% de teor de água, independente da solução condicionante, foram inferiores aos demais, confirmando o perfil intermediário das sementes de café.

Tabela 2 - Porcentagem média de emergência de plântulas aos 45 e 60 dias e índice de velocidade de emergência de plântulas de sementes de café com diferentes teores de água e submetidas ao condicionamento fisiológico com diferentes condicionantes.

Condicionante	Emergência 45 dias (%)		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	5Ac	59Ba	46Ab
Ac. Ascórbico	2Ac	66Ba	45Ab
Catódica	6Ac	60Ba	29Cb
H ₂ O	3Ac	64Ba	53Ab
SNP	6Ac	79Aa	38Bb
CV	20,12		
Condicionante	Emergência 60 dias (%)		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	22Ac	82Ba	59Ab
Ac. Ascórbico	20Ab	81Ba	69Aa
Catódica	15Ac	74Ca	50Bb
H ₂ O	12Ac	80Ba	66Ab
SNP	9Ac	95Aa	56Ab
CV	14,34		
Condicionante	Índice de velocidade de emergência (IVE)		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	0,45Ab	2,24Ba	1,7Aba
Ac. Ascórbico	0,38Ab	2,73Aa	1,7Aba
Catódica	0,34Ab	1,95Ba	1Bb
H ₂ O	0,17Ab	2,72Aa	2,1Aa
SNP	0,12Ab	2,61Aa	1,8Aba
CV	30,63		

As médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2021).

Conforme observado no teste de condutividade elétrica (TABELA 3), em sementes que foram submetidas à secagem até 12% de teor de água, independente da solução condicionante, verificou-se maiores valores de condutividade, e em sementes secadas até 35%, menores valores.

Ao comparar as soluções condicionantes dentro de cada teor de água, em sementes com 12% de teor de água condicionadas em água anódica e água foram observados os menores e maiores resultados, respectivamente. Para sementes com 35% de teor de água, não houve diferença significativa e para sementes com 43% de teor de água, aquelas embebidas em água catódica lixiviaram maior quantidade de constituintes celulares.

Tabela 3 - Condutividade elétrica de sementes de café com diferentes teores de água e submetidas ao condicionamento fisiológico com diferentes condicionantes.

Condicionante	Condutividade Elétrica		
	Teor de água (%)		
	12	35	43
Anódica	12,4Ca	4,8Ac	10,1Cb
Ac. Ascórbico	14,9Ba	5,9Ab	7,6Db
Catódica	13,4BCb	5,8Ac	17,5Aa
H2O	17,3Aa	5,2Ab	6,8Db
SNP	13,7BCa	5,3Ab	13,3Ba
CV	10,47		

As médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2021).

De acordo com os resultados encontrados para comprimento do hipocótilo, verificou-se que sementes com 35% de teor de água foram superiores às sementes com 43% de teor de água. Ao comparar os agentes condicionantes, não houve diferença significativa para ambos os teores de água (TABELA 4).

Quanto ao comprimento da raiz, verifica-se uma inversão, sementes com 43% de teor de água superaram as sementes com 35% de teor de água. Ao avaliar as soluções condicionantes, a água catódica foi o pior condicionante para sementes com 43% de teor de água. Os resultados para a relação tamanho de hipocótilo e raiz foram análogos aos encontrados para comprimento de raiz. Ressalta-se que o equilíbrio entre raiz e parte aérea é fundamental para que as plântulas se desenvolvam e possam dar origem a mudas vigorosas. Não foi possível analisar estatisticamente o comprimento de plântulas de sementes com 12% de teor de água, uma vez que não havia plântulas normais aos 45 dias após a germinação.

Tabela 4 - Comprimento hipocótilo, comprimento da raiz e relação comprimento do hipocótilo/raiz (TH/TR) de plântulas de café, submetidas a diferentes condicionantes aos 45 dias.

Condicionante	Comprimento do hipocótilo (cm)	
	35	43
Anódica	5,8 Aa	4,9 Ab
Ac. Ascórbico	6,1 Aa	5,4 Ab
Catódica	6,1 Aa	5,1 Ab
H2O	6,5 Aa	5,1 Ab
SNP	5,9 Aa	5,1 Ab
CV	7,72	
Condicionante	Comprimento da Raiz (cm)	
	35	43
Anódica	4,0 Ab	6,6 Aa
Ac. Ascórbico	3,5 Ab	6,0 Aa
Catódica	2,7 Ab	4,0 Ba
H2O	3,7 Ab	6,2 Aa
SNP	4,0 Ab	6,3 Aa
CV	16,94	
Condicionante	Relação CH/CR	
	35	43
Anódica	0,7 Ab	1,3 Aa
Ac. Ascórbico	0,6 Ab	1,1 Aa
Catódica	0,4 Ab	0,8 Ba
H2O	0,6 Ab	1,2 Aa
SNP	0,7 Ab	1,3 Aa
CV	16,13	

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2021).

Com relação à massa seca de raiz e parte aérea (TABELA 5), em sementes que foram secadas até 12% de teor de água foram verificados valores inferiores, esses resultados validam os encontrados nos testes de germinação (TABELA 1), posto que, sementes que apresentaram menores porcentagens de germinação, conseqüentemente apresentam menores valores para massa seca. Ao comparar resultados observados em sementes secadas até 35% e 43% de teor de água, quanto à massa seca da raiz, verifica-se que apesar daquelas com teor de água de 43% apresentarem maior comprimento de raiz em relação ao teor de água de 35% (TABELA 4), não houve acúmulo de tecido, conseqüentemente, os resultados não diferem dos encontrados para o teor de água de 35%. Para a massa seca da parte aérea, maiores valores foram encontrados em plântulas oriundas de sementes com 35% de teor de água. Em relação aos tratamentos com as soluções condicionantes, não houve diferença significativa.

Penido *et al.* (2019) verificaram que para a massa seca de raiz, em sementes de café úmidas condicionadas, os resultados foram superiores em relação aos observados em sementes

não condicionadas, somente aos nove meses de armazenamento, não tendo, portanto, efeito do condicionamento até os seis meses. Já nos resultados de massa seca de parte aérea houve aumento da qualidade das sementes úmidas quando submetidas ao condicionamento fisiológico aos três e aos nove meses de armazenamento. No entanto, no mesmo trabalho foi verificado que para sementes secas foi observado o mesmo resultado de massa seca de raiz e parte aérea, tendo um efeito positivo do condicionamento fisiológico apenas quando as sementes estavam recém-colhidas. Após o armazenamento, o condicionamento fisiológico não teve efeito nas sementes secas.

Tabela 5 - Matéria seca (g) de raiz (R) e parte aérea (PA) de plântulas com 45 dias, oriundas de sementes de café com diferentes teores de água e submetidas a diferentes condicionantes.

Condicionante	Massa seca Raiz			Média
	12	35	43	
Anódica	0,10	0,21	0,23	0,17 A
Ac. Ascórbico	0,11	0,25	0,23	0,20 A
Catódica	0,10	0,21	0,20	0,17 A
H ₂ O	0,10	0,21	0,23	0,18 A
SNP	0,12	0,26	0,23	0,20 A
Média	0,11 b	0,23 a	0,22 a	
CV	19,84			
Condicionante	Massa seca parte aérea			Média
	12	35	43	
Anódica	0,85	1,68	1,44	1,32 A
Ac. Ascórbico	0,86	1,86	1,38	1,36 A
Catódica	0,80	1,79	1,41	1,33 A
H ₂ O	0,84	1,89	1,45	1,39 A
SNP	0,88	1,84	1,46	1,40 A
Média	0,85 c	1,82 a	1,43b	
CV	10,36			

As médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

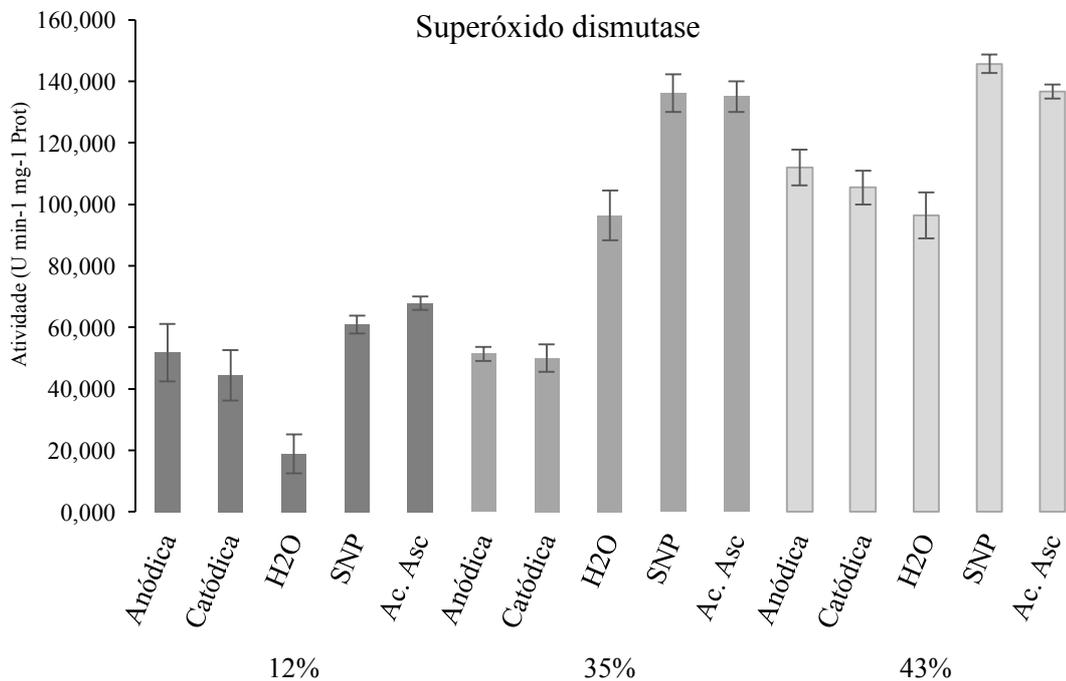
Fonte: Da autora (2021).

Ao considerar a atividade da SOD, em sementes com 12% de teor de água, observou-se maior atividade quando condicionadas em AsA, e menor atividade em sementes condicionadas em água destilada. Em sementes com teor de água de 35%, maiores atividades foram observadas naquelas condicionadas com SNP e AsA. Esses resultados podem estar associados ao melhor desempenho dessas sementes quando as folhas cotiledonares aos 45 dias (TABELA 1) foram avaliadas, uma vez que essa enzima atua contra os radicais livres, já menores atividades foram observadas em sementes embebidas em água catódica e anódica. Em sementes com 43% de teor de água condicionadas em SNP e AsA também se observou as maiores atividades de SOD. Os

liberadores de ON aumentam a atividade de enzimas antioxidantes que reduzem os estresses oxidativos causados por condições abióticas. Em geral, a resposta ao estresse é produto da sua interação do ON com fito-hormônios, uma vez que o ON atua como molécula mensageira (DU *et al.*, 2015; SANZ *et al.*, 2015). Em estudos realizados com sementes de girassol, foi verificado que em sementes de baixo vigor expostas ao estresse térmico de 35 °C, o osmocondicionamento proporcionou a maior atividade da SOD (BARROS *et al.*, 2021).

As técnicas para análise da atividade da SOD vêm sendo comumente utilizadas como ferramentas complementares para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho, soja, café, jiló, pimenta, gergelim (SANTOS *et al.*, 2016; ABREU *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2017; PIRES *et al.*, 2016). É válido destacar que as enzimas SOD e CAT atuam juntas e integradas no mecanismo antioxidante, neutralizando e mantendo os produtos tóxicos em níveis controlados (MITTLER, 2017).

Figura 1 - Quantificação de superóxido dismutase (SOD) em sementes de café com teores de água de 12, 35 e 43% e submetidas ao condicionamento fisiológico com água anódica, água catódica, água destilada, nitroprussiato de sódio (SNP) e ácido ascórbico.



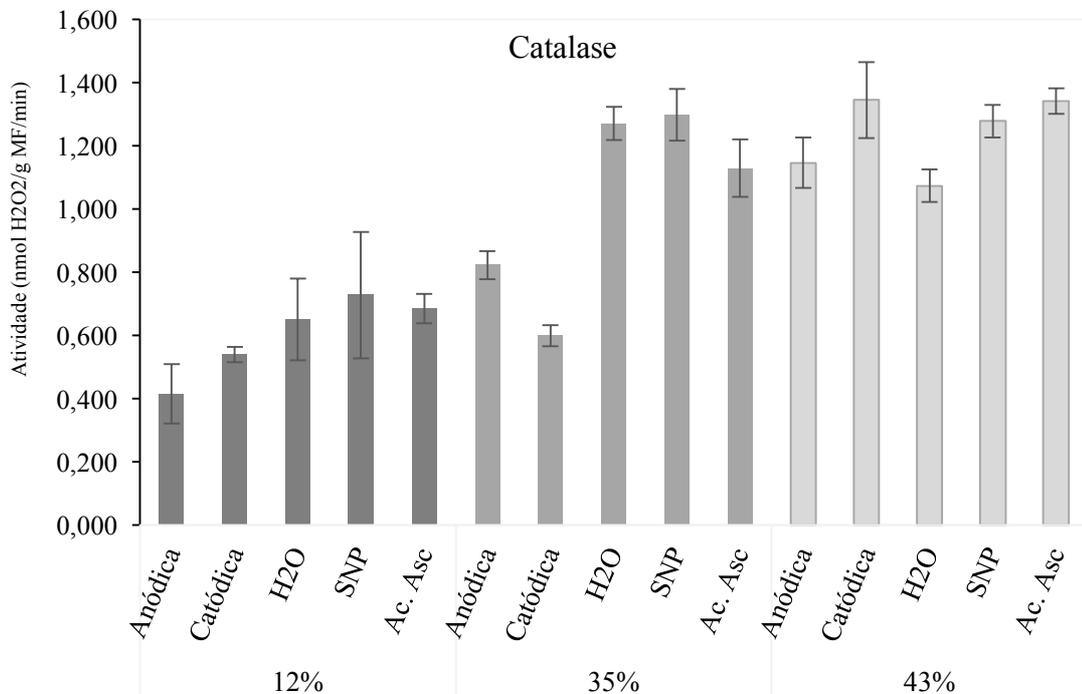
Fonte: Da autora (2021).

Ao analisar a atividade da enzima CAT, em sementes com teor de água de 35%, maiores atividades foram observadas quando condicionadas em água destilada, SNP e AsA. Quanto à atividade dessa enzima em sementes com 43% de teor de água, menor atividade foi observada

em sementes condicionadas com água destilada. A redução da CAT está relacionada ao aumento da deterioração, evidenciado pelos testes de germinação e de vigor das sementes, porém, alta expressão da CAT também está relacionada às altas concentrações de H_2O_2 , visto que, essa enzima atua também em condições de estresse.

A expressão da enzima CAT tem sido utilizada como ferramenta em diversos trabalhos que visam avaliar a qualidade dos lotes de sementes de algumas espécies como milho, soja, café, jiló, pimenta (ALVES *et al.*, 2017; PIRES *et al.*, 2017).

Figura 2 - Quantificação de Catalase (CAT) em sementes de café com teores de água de 12, 35 e 43% e submetidas ao condicionamento fisiológico com água anódica, água catódica, água destilada, nitroprussiato de sódio (SNP) e ácido ascórbico.



Fonte: Da autora (2021).

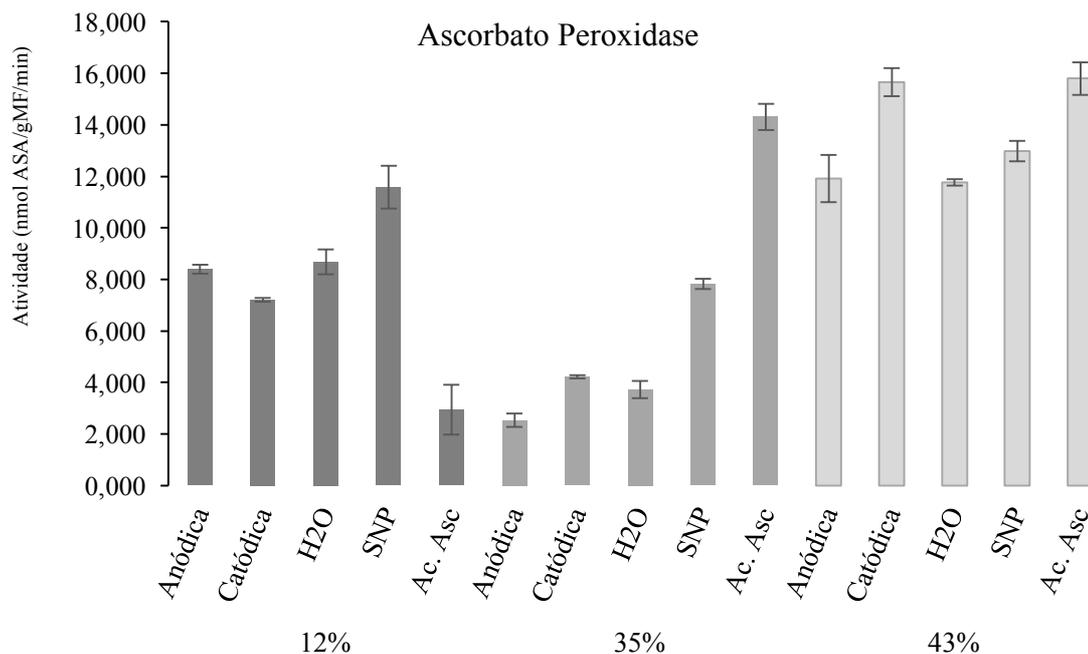
Conforme observado na Figura 3, referente a atividade da APX, em sementes de café com 12% de teor de água, condicionadas com AsA houve menor atividade, enquanto naquelas condicionadas em SNP maior atividade dessa enzima. Ao contrário do que verificado para 12%, a atividade da APX em sementes com 35% de teor de água foi maior para aquelas condicionadas em AsA e menor para as sementes condicionadas em água anódica. Observa-se que, para as sementes com 43% de teor de água, maior atividade da enzima foi encontrada em sementes embebidas em AsA e água catódica. As maiores atividades das enzimas para sementes com 43% de teor de água podem ser explicadas pelo fato de que, sementes com altos teores de água, iniciam sua atividade metabólica antes de sementes com baixos teores, logo, a ação das enzimas também é antecipada.

Semelhante à CAT, as enzimas APX e POX integram um amplo grupo de enzimas peroxidases que agem neutralizando o H_2O_2 e diversos outros processos fisiológicos (DE GARA, 2004). Logo, essas enzimas desempenham um papel importante para a neutralização do excesso de ERO'S no nível celular (KUMAR *et al.*, 2015). Nas plantas, o ascorbato é o mais importante antioxidante e, em associação com outros componentes do sistema de defesa, protege as plantas contra os danos oxidativos resultantes do metabolismo aeróbio, fotossíntese e uma série de poluentes, inibindo a peroxidação, protegendo a célula dos danos e atrasando sua senescência (ZHANG, 2013).

Em geral, o osmocondicionamento promoveu aumentos significativos na atividade de enzimas antioxidantes (SOD, CAT, APX e POX) em culturas como girassol (BAILLY *et al.*, 2000), arroz (HUSSAIN *et al.*, 2016), sorgo (ZHANG *et al.*, 2015), milho (AHMAD *et al.*, 2015) e trigo (ALI *et al.*, 2017).

Portanto, verifica-se que o condicionamento fisiológico, é uma técnica viável para produtores de sementes de café, uma vez que – respeitadas as características da cultura e a melhor utilização dos métodos disponíveis para tal condicionamento, possibilita o envigoroamento das mesmas após um longo período de armazenamento.

Figura 3 - Quantificação de ascorbato peroxidase (APX) em sementes de café com teores de água de 12, 35 e 43% e submetidas ao condicionamento fisiológico com água anódica, água catódica, água destilada, nitroprussiato de sódio (SNP) e ácido ascórbico.



Fonte: Da autora (2021).

4 CONCLUSÕES

O condicionamento fisiológico, independente do agente condicionante, não é eficaz em sementes de café com teor de água de 12%, após oito meses de armazenamento.

O condicionamento fisiológico em soluções de ácido ascórbico e nitroprussiato de sódio aumenta o vigor de sementes de café, após oito meses de armazenamento, se estas estiverem com teor de água igual a 35%.

Maiores atividades da enzima SOD está relacionada a maior qualidade fisiológica das sementes de café.

Maiores atividades das enzimas CAT e APX estão relacionadas a maior qualidade quando as sementes de café estão com 35% de teor de água.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, I.; BASRA, S.M.A.; HUSSAIN, S.; HUSSAIN, S.A.; REHMAN, H.; REHMAN, A.; ALI, A. Priming with ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide improves seedling growth of spring maize at suboptimal temperature. **Journal of Environmental and Agricultural Sciences**, [s.l.], v. 3, n. 18.6, p. 14-22, 2015.
- ABID, M. *et al.* Seed osmopriming invokes stress memory against post-germinative drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 145, p. 12-20, 2018.
- ALI, Q.; DAUD, M.K.; HAIDER, M.Z.; ALI, S.; RIZWAN, M.; ASLAM, N.; ZHU, S.J. Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 119, p. 50-58, 2017.
- ALVES M.V.P. *et al.* Physiological and biochemical characterization of jiló seeds (*Solanum gilo*) in different harvest times. **American Journal of Plant Sciences**, [s.l.], v. 8, n. 10, p. 2569-2595, 2017.
- ATAÍDE, G.M. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 38, n. 3, p. 438-444, 2015.
- ARIF, M. *et al.* Evaluating the impact of osmopriming varying with polyethylene glycol concentrations and durations on soybean. **International Journal of Agriculture and Biology**, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 359-364, 2014.
- ARMONDES, K.A.P. *et al.* Condicionamento osmótico e desempenho de sementes de repolho com diferentes níveis de vigor. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 34, n. 3, p. 428-434, 2016.
- BAILLY, C.; BENAMAR, A.; CORBINEAU, F.; CÔME, D. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 35-42, 2000.
- BARROS, T.T.V. *et al.* **Semina: Ciências Agrária**, Londrina, v. 42, n. 3, suplemento 1, p. 1435-1452, 2021.
- BASRA, S.M.A.; FAROOQ, M.; WAHID, A.; KHAN, M.B. Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. **Seed Science Technology**, [s.l.], v. 34, p. 753-758, 2006.
- BERJAK, P.; SERSHEN, B. V.; PAMMENTER, N. W. Cathodic amelioration of the adverse effects of oxidative stress accompanying procedures necessary for cryopreservation of embryonic axes of recalcitrant-seeded species. **Seed Science Research**, Wageningen, v. 21, n. 3, p. 187-203, Sept. 2011.
- BRASIL. MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395 p.

BRAZ, M.R.S.; ROSSETTO, C.A. Condicionamento fisiológico na germinação e no vigor de sementes armazenadas de café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.7, p. 1849-1856, 2008.

CAMARGO, R. **Condicionamento fisiológico de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1998. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.

CARVALHO, C.A.M.; ALMEIDA, T.T.; GUIMARÃES, R.M. Plântulas de café originadas de sementes armazenadas e submetidas ao condicionamento fisiológico em matriz sólida. **Nativa**, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 166-169, 2014.

CARVALHO, C.A.M.; GUIMARÃES, R.M.; SILVA, T.T.A. Condicionamento fisiológico em matriz sólida de sementes de café (*Coffea arabica* L.) com e sem pergaminho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 94-98, 2012.

DE GARA, L. Class III peroxidases and ascorbate metabolism in plants. **Phytochemistry Reviews**, [s.l.], v. 3, n. 1-2, p. 195-205, 2004.

DU, S.T.; LIU, Y.; ZHANG, P.; LIU, H.J.; ZHANG, X.Q.; ZHANG, R.R Atmospheric application of trace amounts of nitric oxide enhances tolerance to salt stress and improves nutritional quality in spinach (*Spinacia oleracea* L.). **Food Chemistry**, [s.l.], v. 173, p. 905-911, 2015.

EIRA, M.T.S. *et al.* Tolerance of coffee spp. seeds to desiccation and low temperature. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 97-105, aug. 1999.

ELLIS, R.H.; HONG, T.D.; ROBERTS, E.H. An intermediate category of seed storage behavior: I., coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, n. 230, p. 1167-1174, 1990.

FAN, H.; DU, C.; XU, Y.; WU, X. Exogenous Nitric Oxide Improves Chilling Tolerance of Chinese Cabbage Seedlings by Affecting Antioxidant Enzymes in Leaves. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, [s.l.], v. 55, p. 159-165, 2014.

FERREIRA, D.F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

GALLIE, D.R. Ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development. **Scientifica**, New York, v.2003, n.1, p.1-24, 2013.

GUIMARÃES, R.M. **Tolerância à dessecação e condicionamento fisiológico em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica*, L.)**. 2000. 180 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, MG, 2000.

HONG, T.D.; ELLIS, R.H. Optimum air-dry seed storage environments for arabica coffee. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 20, n. 3, p. 547-560, 1992.

HUSSAIN, S. *et al.* Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. **Scientific Reports**, London, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2015.

KAISER, I.S. *et al.* Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 1, p. 39-45, 2016.

KIKUTI, A.L.P. *et al.* Coffee seeds water imbibition at different periods and temperatures. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [s.l.], v. 11, n. S2, p. 51 - 57, 2013.

KUMAR, J.S.P., PRASAD, S.R., BANERJEE, R.; THAMMINENI, C. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 116, n. 4, p. 663-668, 2015.

LIMA, S.M.P. *et al.* Efeitos de tempos e temperaturas de condicionamento sobre a qualidade fisiológica de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica*, L.) sob condições ideais e de estresse térmico. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 28, n. 3, p. 506-514, 2004.

LIMA, W.A.A. **Condicionamento fisiológico, germinação e vigor de sementes de café (*Coffea arabica* L.)**. 1999. 69 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

MAGUIRRE, J.D. Speed of germination - aid seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, p. 176-177, mar./apr. 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 495 p.

MCCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J.; SHETTY, K. Model for enhanced pea seedling vigour following low pH and salicylic acid treatments. **Processes Biochemistry**, Reino Unido, v. 35, n. 6, p. 603-613, 2000.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant Science**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 11-19, 2017.

PENIDO, A. C. **Tratamento químico, armazenamento e condicionamento fisiológico de sementes de café (*Coffea arabica* L.)**. 2019. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

PEREIRA B.L.C.; BORGES E.E.L.; OLIVEIRA A.C.; LEITE H.G.; GONÇALVES J.F.C. Influência do óxido nítrico na germinação de sementes de *Plathymenia reticulata* Benth com baixo vigor. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 38, p. 629-636, 2010.

PIRES, R. *et al.* Action of nitric oxide in sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) submitted to stress by cadmium. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n.1, p. 022-029, 2016.

RICALDONI, M.A. **Ação antioxidante da água catódica: estudos preliminares em sementes de café**. 2016. 22 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

RUTTANARUANGBOWORN, A. *et al.* Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.), **Journal of Integrative Agriculture**, [s.l.], v.16, n. 3, p. 605-613, 2017.

- SADEGI, H.; ROBATI, Z. Response of *Cichorium intybus* L. to eight seed priming methods under osmotic stress conditions. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Taichung, v.4, n. 4, p.443-448, 2015.
- SANTOS, C.A. *et al.* Germinação de duas espécies da caatinga sob déficit hídrico e salinidade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 219-224, 2016.
- SANZ, L.; ALBERTOS, P.; MATEOS, I.; SÁNCHEZ-VICENTE, I.; LECHÓN, T.; FERNÁNDEZ-MARCOS, M.; LORENZO, O. Nitric oxide (NO) and phytohormones crosstalk during early plant development. **Journal of Experimental Botany**, [s.l.], v. 66, p. 2857-2868, 2015.
- SGUAREZI, C.N. *et al.* Avaliação de tratamentos pré-germinativos para melhorar o desempenho de sementes de café (*Coffea arabica* L.). II. Processo de umidificação. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 23, n. 2, p. 162-170, 2001.
- SONG J.; SHI G.; XING S.; CHEN, M.; WANG, B. Effects of nitric oxide and nitrogen on seedling emergence, ion accumulation, and seedling growth under salinity in the euhalophyte *Suaeda salsa*. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [s.l.], v. 172., p. 544-549, 2009
- TOMMASI, F.; PACIOLLA, C.; DE PINTO, M.C.; DE GARA, L A Comparative study of glutathione and ascorbate metabolism during germination of *Pinus Pinea* L. Seeds. **Journal of Experimental Botany**. [s.l.], v. 52, n. 361, p. 1647-1654, 2011.
- VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. *In*: Krzyzanowski, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap.3. p.1-24.
- VILELA, A.L.O. *et al.* Antioxidant and antimicrobial activity of cathode and anode in *Coffea arabica* L. seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 43, e202143011, 2021.
- WANG, W. *et al.* The effect of storage condition and duration on the deterioration of primed rice seeds. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, p. 172, 2018.
- YAN, M. Prolonged storage reduced the positive effect of hydropriming in Chinese cabbage seeds stored at different temperatures. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 111, p. 313-315, 2017.
- ZHENG, M. *et al.* Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 78, n. 2, p.167-178, 2016.