



Desvendando a resposta ao estresse: estratificação de vigor por meio do teste de deterioração controlada

Unveiling stress response: vigor stratification through controlled deterioration test

L. C. Soares^{1*}; A. S. Dutra²; H. F. Abud³; L. M. H. da Silva⁴

¹Departamento de Agronomia/ Laboratório de Epidemiologia e Patologia de Sementes/ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 23890-000, Seropédica-Rio de Janeiro, Brasil

²Departamento de Agronomia /Laboratório de Sementes/ Universidade Federal Do Ceará, 60455-760, Fortaleza-Ceará, Brasil

³Image Pesquisas Sementes e Plantas/ Parque de Desenvolvimento Tecnológico (PADETEC)/ Universidade Federal Do Ceará, 60455-760, Fortaleza-Ceará, Brasil

⁴Departamento de Ambientais /Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, 52711900, Recife-Pernambuco, Brasil

*lucasolisoares@hotmail.com

(Recebido em 12 de abril de 2024; aceito em 30 de outubro de 2024)

Os testes de vigor são essenciais na determinação da qualidade das sementes, fornecendo dados cruciais para sua gestão. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia do teste de deterioração controlada na avaliação da qualidade de lotes de sementes de *Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum & Nakai. Foram utilizados quatro lotes da cultivar Crimson Sweet, seguindo um delineamento experimental fatorial 4 x 2 x 2 x 2 (quatro lotes, duas temperaturas, duas umidades da semente e dois tempos de exposição) e quatro repetições por tratamento. Os lotes foram caracterizados inicialmente quanto à germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, emergência em campo e índice de velocidade de emergência. Para o teste de deterioração controlada, as sementes foram ajustadas para teores de água de 18% e 24% e submetidas ao banho-maria, a temperaturas de 41°C e 45°C, com exposição de 48 e 72 horas. Os resultados indicaram que o teste de deterioração controlada foi eficaz na avaliação da qualidade dos lotes de sementes de melancia. Notavelmente, as combinações mais eficazes na avaliação do vigor foram aquelas em que as sementes foram submetidas a um teor de água de 18%, junto com temperaturas de 41°C ou 45°C, por um período de 48 horas. Os resultados destacam a relevância do teste de deterioração controlada na avaliação confiável da qualidade das sementes de melancia, especialmente quando realizado sob condições específicas de teor de água e temperatura. Possibilitando uma decisão adequada no manejo dos lotes de sementes.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*, deterioração de sementes, vigor de sementes.

Vigor tests are essential in determining seed quality, providing crucial data for its management. This study aimed to evaluate the effectiveness of the controlled deterioration test in assessing the quality of *Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum & Nakai seed lots. Four lots of the Crimson Sweet cultivar were used, following a 4 x 2 x 2 x 2 factorial experimental design (four lots, two temperatures, two seed moisture levels, and two exposure times) with four replications per treatment. The lots were initially characterized for germination, first germination count, accelerated aging, electrical conductivity, field emergence, and emergence speed index. For the controlled deterioration test, seeds were adjusted to moisture contents of 18% and 24% and subjected to a water bath at temperatures of 41°C and 45°C, with exposure times of 48 and 72 hours. The results indicated that the controlled deterioration test was effective in assessing the quality of *Citrullus lanatus* seed lots. Notably, the most effective combinations for vigor assessment were those where the seeds were subjected to a moisture content of 18%, along with temperatures of 41°C or 45°C, for a period of 48 hours. The results highlight the relevance of the controlled deterioration test in reliably evaluating watermelon seed quality, especially when performed under specific moisture and temperature conditions, enabling appropriate decisions in seed lot management.

Keywords: *Citrullus lanatus*, seed deterioration, seed vigor.

1. INTRODUÇÃO

As sementes desempenham um papel crucial na garantia da segurança alimentar e na sustentabilidade agrícola, sendo a base para a produção de culturas que alimentam a população mundial [1]. No entanto, as sementes não são imunes aos efeitos do tempo e do ambiente. Com o passar do tempo, as sementes sofrem um processo de envelhecimento natural, que leva à perda gradual de sua viabilidade e vigor [2]. Esse envelhecimento, muitas vezes acelerado por condições desfavoráveis de armazenamento e manejo, comprometem a qualidade das sementes.

O envelhecimento das sementes é um processo complexo influenciado por uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos. Em sementes de melancia *Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum & Nakai (Cucurbitaceae), essa deterioração pode ter efeitos significativos na qualidade das sementes, afetando a capacidade de germinação e o vigor das plântulas. A melancia é uma cultura de destaque em várias regiões do mundo, tanto pelo seu valor nutricional quanto pelo seu potencial econômico [3]. Portanto, compreender os mecanismos de envelhecimento e deterioração em sementes de melancia é essencial para a produção sustentável e a qualidade das colheitas.

As causas da deterioração das sementes são diversas e incluem fatores como umidade, temperatura, presença de patógenos, composição genética e atividades enzimáticas [4]. Esses elementos podem desencadear reações metabólicas que comprometem as reservas de energia das sementes e alteram sua integridade estrutural. Como resultado, a germinação e o desenvolvimento das plântulas são prejudicados, o que impacta diretamente a produção agrícola [5].

A compreensão dos impactos da deterioração de sementes nas práticas de produção e armazenamento de sementes e grãos é de suma importância. Sementes deterioradas podem resultar em perdas significativas na produção, redução na qualidade das colheitas e menor estabilidade durante o armazenamento [4]. Isso não apenas afeta a rentabilidade dos agricultores, mas também tem implicações mais amplas na segurança alimentar global.

Diante desse cenário, o teste de deterioração controlada emerge como uma abordagem promissora para avaliar a qualidade das sementes e prever seu desempenho em campo. Esse teste submete as sementes a condições específicas e controladas de estresse, como elevada umidade e temperatura, a fim de acelerar os processos de envelhecimento e deterioração [6].

Diferentemente do teste de envelhecimento acelerado, que foca na simulação global do envelhecimento natural, o teste de deterioração controlada concentra-se na exposição direta das sementes a fatores determinantes do processo de envelhecimento. Contudo, o teste de deterioração controlada se torna mais sensível devido à padronização inicial no teor de água das sementes, consequentemente gerando resultados mais confiáveis na determinação do vigor e na diferenciação de lotes de sementes [7].

Sendo assim, o presente estudo foi conduzido com o propósito de avaliar a eficácia inerente ao emprego do teste de deterioração controlada na estimativa da qualidade fisiológica de sementes de melancia, cultivar Crimson Sweet.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes, situado no Centro de Ciências Agrárias, no âmbito do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará. A pesquisa empregou quatro diferentes lotes de sementes pertencentes a cultivar Crimson Sweet de melancia.

A etapa inicial da investigação consistiu na realização de análises de germinação e vigor das sementes. Para tal, foram adotados os seguintes parâmetros avaliativos: primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, emergência das plântulas em campo e índice de velocidade de emergência. Estes testes foram empregados com o intuito de caracterizar o estado inicial de qualidade dos lotes de sementes em questão. As metodologias utilizadas foram as seguintes:

A determinação do teor de água (TA) foi conduzida conforme as orientações preconizadas pelas Regras para Análise de Sementes [8]. Foram utilizadas duas amostras, cada uma contendo

2 g de sementes, as quais foram colocadas em recipientes de alumínio, pesadas e posteriormente submetidas à estufa a uma temperatura de 105 ± 3 °C durante um período de 24 horas.

O teste de germinação (TG) foi realizado mediante quatro repetições de 50 sementes por lote. As sementes foram dispostas em rolos de papel filtro previamente umedecido com uma quantidade correspondente a 2,5 vezes o peso seco do papel. Estes rolos foram mantidos em um germinador com temperatura constantemente controlada a 25°C. A contagem final foi efetuada no décimo quarto dia após a sementeira, em consonância com as diretrizes preconizadas por Brasil (2009) [8], e os resultados foram expressos como uma média percentual de plântulas normais.

A primeira contagem de germinação (PCG) foi realizada concomitantemente ao teste de germinação. A porcentagem de plântulas normais foi determinada no quinto dia após a sementeira, conforme as orientações de Brasil (2009) [8].

Para avaliar a emergência das plântulas em campo (EC), quatro repetições de 50 sementes foram utilizadas. Estas foram distribuídas em canteiros medindo 10 x 1 m, com uma distância de 20 cm entre repetições. Os canteiros foram preparados com uma mistura de terra e areia na proporção de 1:1. As irrigações foram providenciadas conforme a necessidade, visando assegurar a disponibilidade de água para a germinação das sementes e subsequente emergência das plântulas. A porcentagem de emergência das plântulas foi determinada no décimo quarto dia após a sementeira.

O envelhecimento acelerado (EA) foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes por lote. Neste procedimento, 200 sementes foram dispostas sobre uma tela de aço inoxidável posicionada no terço superior de uma caixa plástica com dimensões de 11 x 11 x 3,5 cm. A caixa continha 40 mL de água destilada. Após o fechamento da tampa, as caixas foram mantidas em uma câmara B.O.D. regulada a 41°C durante um período de 48 horas. Ao término desta etapa, o teste de germinação foi realizado.

A condutividade elétrica (CE) foi avaliada utilizando-se quatro repetições de 50 sementes. As sementes foram pesadas em uma balança analítica com resolução de 0,001 g. Posteriormente, foram colocadas em copos plásticos contendo 75 mL de água destilada. Estes copos foram então dispostos em câmaras de germinação a uma temperatura de 25°C ao longo de um período de 24 horas. Após essa etapa, a condutividade elétrica da solução foi medida por meio de um medidor de condutividade elétrica (modelo TEC-4MP), sendo os valores médios calculados e expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\text{ g}^{-1}$ de sementes, conforme Vieira e Krzyzanowski (2020) [9].

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi conduzido de maneira concomitante ao teste de emergência de plântulas em campo, e sua determinação foi baseada na contagem diária das plântulas emergidas. O cálculo do IVE foi realizado conforme a fórmula proposta por Maguire (1962) [10]:

$$\text{IVE} = \frac{E_1}{T_1} + \frac{E_2}{T_2} + \dots + \frac{E_i}{T_i} \quad (1)$$

E_1 até E_i é o número de plântulas emergidas ocorrida em cada dia; T_1 até T_i é o tempo (dias).

A massa seca foi determinada a partir das plântulas normais previamente mensuradas em cada repetição. As plântulas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft, previamente identificados e pesados, e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, ajustada a 80 °C, por um período de 24 horas. Após esse intervalo, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g, com os resultados expressos em miligramas.

O procedimento de deterioração controlada (DC) foi iniciado pelo ajuste do teor de água das sementes para os valores de 18% e 24% através do método do substrato úmido, conforme descrito por Zucareli et al. (2011) [11]. Esse processo envolveu o uso de papel filtro umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel em relação às sementes. Esses conjuntos foram acomodados em caixas plásticas (11 × 11 × 3 cm) e mantidos em câmara BOD até atingirem a massa previamente determinada.

O monitoramento dos teores de água das sementes durante a etapa de umedecimento artificial foi realizada por meio de pesagens sequenciais, visando alcançar os valores desejados. Cada amostra foi então colocada em sacos plásticos transparentes com fechamento tipo zip lock e, posteriormente, inserida em sacos laminados que foram selados hermeticamente. Essas amostras permaneceram em câmara fria (8-10°C) durante cinco dias para atingir o equilíbrio higroscópico, conforme metodologia descrita por Leão-araújo (2017) [12].

Os cálculos dos teores de água das sementes foram realizados de acordo com a abordagem proposta por Leão-Araújo (2017) [12], que considera o teor de água inicial das sementes, o peso inicial dos lotes e o peso final necessário para atingir os teores de água desejados ou avaliados em um determinado período de embebição. A fórmula empregada foi a seguinte:

$$W2 = \frac{(100-A)W1}{(100-B)} \quad (1)$$

Onde: A = teor de água inicial das sementes; B = teor de água requerido; W1 = peso inicial das sementes (g); W2 = peso final das sementes (g), para o teor de água requerido.

Após esse período, as sementes foram submetidas a condições de banho-maria, a temperaturas de 41°C e 45°C, durante 48 e 72 horas, respectivamente. Ao término desses períodos, os recipientes foram imersos rapidamente em água fria para reduzir a temperatura, sendo em seguida instalado o teste de germinação, conforme metodologia descrita por Powell (1995) [13]. As contagens foram efetuadas no quinto dia após a semeadura, e os resultados foram expressos em forma de porcentagem média de plântulas normais. Adicionalmente, os teores de água das sementes após os períodos de banho-maria também foram determinados.

No que concerne ao desenho experimental e análise estatística, o delineamento adotado para avaliar a qualidade dos lotes de sementes foi o inteiramente casualizado. Os dados resultantes dos testes TG, PCG, IVE, EA, CE e EC foram submetidos a uma análise de variância, após confirmar a distribuição normal de erros pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett, as médias dos valores foram comparadas pelo teste de média de Tukey, com um nível de significância de 5%.

Já os dados referentes à deterioração controlada (DC) foram analisados através de um delineamento inteiramente casualizado, utilizando um esquema fatorial 4 x 2 x 2 x 2 (quatro lotes de sementes, duas temperaturas, duas umidades das sementes e dois tempos de exposição), com quatro repetições. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, também com um nível de significância de 5%. Adicionalmente, os coeficientes de correlação linear simples (r) entre os resultados do teste de deterioração controlada e as caracterizações dos lotes foram determinados. As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software Sisvar [14] e o R 4.1.2. [15].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados derivados dos ensaios de caracterização inicial demonstraram, de maneira geral, a capacidade de discernimento entre os lotes (Figura 1). Em relação ao teste de germinação, houve a manifestação de diferenças estatisticamente significativas entre os lotes investigados. Notavelmente, os lotes 1 e 4 tiveram uma proporção mais elevada de germinação e plântulas normais, conferindo-lhe o status de superior qualidade (Figura 1).

Contrastando essa observação, os lotes 2 e 3 apresentaram um desempenho intermediário, ou seja, proporção mais baixa na porcentagem de germinação das sementes e plântulas consideradas normais e, conseqüentemente, foram classificados como portadores de qualidade inferior.

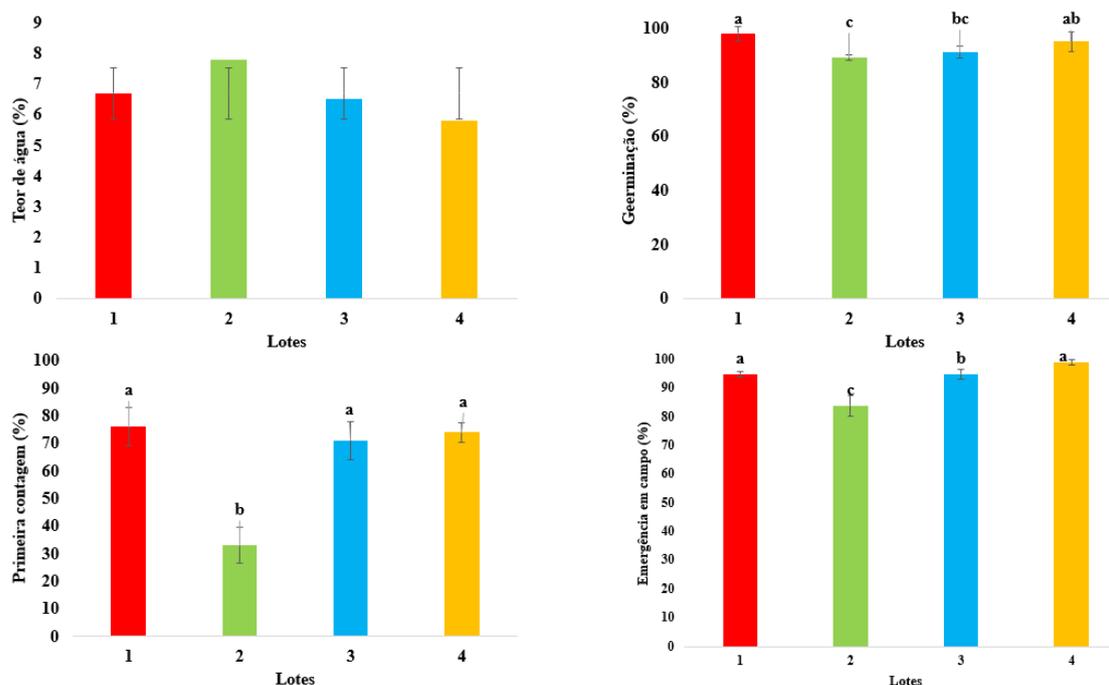


Figura 1 - Teor de água (TA), germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), emergência em campo (EC) para quatro lotes de sementes de melancia (*Citrullus lanatus*). * Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora o teste de germinação tenha revelado sua eficácia ao distinguir entre os diferentes lotes, é importante destacar que todos os lotes exibiram uma taxa de germinação superior aos 80. O teste de germinação, portanto, demonstrou o alto padrão de qualidade das sementes avaliadas neste estudo.

A análise da primeira contagem de germinação (Figura 1) conduziu à classificação dos lotes em dois níveis distintos de vigor. Especificamente, os lotes 1, 3 e 4 foram considerados portadores de maior vigor, em contraste ao lote 2, que exibiu um desempenho inferior. Este padrão de diferenciação evidencia uma correspondência com o ranqueamento de lotes estabelecido através do teste de germinação.

Oliveira et al. (2015) [16] realizaram um estudo com o propósito de avaliar a viabilidade do emprego da medição do dióxido de carbono (CO_2) como uma abordagem alternativa para a diferenciação do vigor de lotes de sementes de melancia. Para tal, empregaram o teste de primeira contagem como método de estratificação dos lotes, utilizando a cultivar Crimson sweet, que coincide com a variedade empregada na presente pesquisa. Os resultados obtidos corroboraram com a tendência observada neste estudo, demonstrando que o teste de primeira contagem possibilitou apenas a segregação dos lotes de sementes de melancia em dois níveis distintos de vigor.

Sendo assim, de acordo com a análise de Marcos Filho (2015) [17], a diminuição na taxa de germinação não figura entre os primeiros indícios do processo de deterioração das sementes, o que pode explicar a limitação da primeira contagem em discernir diferenças de vigor. Contrapondo essa perspectiva, Medeiros et al. (2014) [18] apontam que a primeira contagem de germinação frequentemente oferece resultados mais significativos em relação à velocidade de germinação entre diferentes lotes, se comparada ao teste de índice de velocidade de germinação. Além disso, destacam a relevância da primeira contagem para identificar lotes capazes de estabelecer-se mais rapidamente. Vale mencionar que essa abordagem pode ser implementada de forma concomitante ao teste de germinação, implicando em menor demanda por recursos e em uma execução menos complexa do que o teste de velocidade de germinação.

Analisando as informações apresentadas na Figura 1, o teste de emergência em campo promoveu a estratificação dos lotes em três distintos níveis de vigor. Nesse contexto, os lotes 1 e 4 foram categorizados como portadores de alto vigor, enquanto o lote 3 apresentou um desempenho intermediário e o lote 2 foi considerado como detentor de vigor inferior.

O presente achado ecoa os resultados do estudo conduzido por Radke et al. (2017) [19], cujo objetivo foi investigar metodologias do teste de envelhecimento acelerado para avaliar o potencial fisiológico de sementes de melancia da cultivar Crimson sweet. Neste contexto, observou-se uma concordância de resultados no que se refere ao teste de emergência, o qual foi capaz de estratificar os lotes de sementes de melancia em três diferentes níveis de vigor.

No que concerne ao índice de velocidade de emergência (Figura 2), os lotes foram subdivididos em três níveis de vigor. Mais uma vez, o lote 1 evidenciou um desempenho superior, ao passo que os lotes 3 e 4 foram avaliados como intermediários, e o lote 2 manifestou um desempenho inferior. Tal comportamento foi igualmente observado no teste de envelhecimento acelerado (Figura 2), o qual classificou os lotes em três níveis distintos de vigor. Cabe ressaltar que o lote 2, embora tenha consistentemente ocupado a classificação de menor vigor nos demais testes, neste cenário foi classificado como intermediário.

Nesse sentido, o ambiente do teste de envelhecimento acelerado pode ter estimulado o metabolismo das sementes do lote 2, favorecendo a absorção de água e, por conseguinte, resultando em uma maior taxa de germinação, visto que, a umidade desempenha um papel crítico no desencadeamento do processo de germinação, uma vez que a água atua como ativadora e mantenedora do metabolismo das sementes [20]. Comparando com o teste de germinação, o lote 2 registrou um aumento de 5% na taxa de germinação.

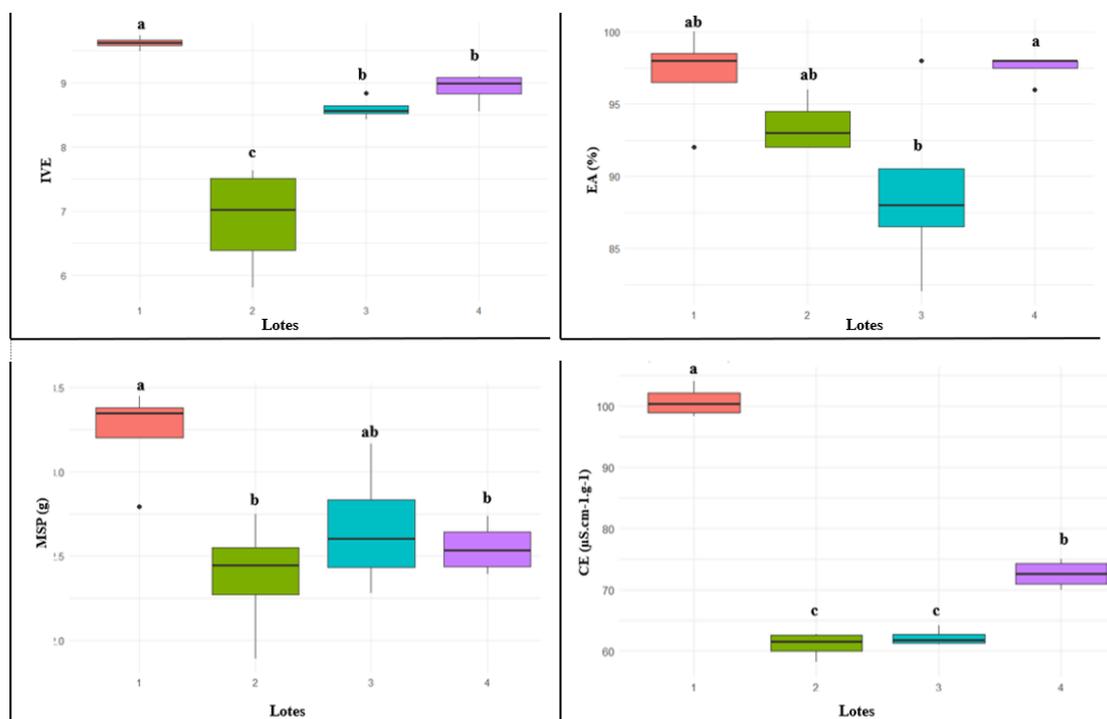


Figura 2 - Índice de velocidade de emergência (IVE), envelhecimento acelerado (EA), massa seca de plântulas (MSP), condutividade elétrica (CE) para quatro lotes de sementes de melancia (*Citrullus lanatus*). * Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à massa seca das plântulas (Figura 2), o lote 1 novamente se sobressaiu como de melhor qualidade, seguido pelo lote 3 com vigor intermediário, enquanto os lotes 2 e 4 demonstraram vigor inferior. O teste de matéria seca das plântulas se baseia na premissa de que sementes de alto vigor têm a capacidade de gerar plântulas com um maior desenvolvimento e acúmulo de massa, tornando-o uma ferramenta eficaz para avaliar o vigor dos lotes de sementes [21]. Dado que as plantas avaliadas neste teste são provenientes do teste de emergência, a metodologia se mostra particularmente viável para a avaliação da qualidade das sementes, dada sua simplicidade, custo reduzido e resultados rápidos.

O teste de condutividade elétrica (Figura 2) evidenciou os lotes 2 e 3 como superiores, em contraposição aos lotes 1 e 4, que exibiram qualidade inferior. A condutividade elétrica tem sido empregada com sucesso na avaliação do vigor de sementes de diversas espécies. Nesse teste, a qualidade das sementes é avaliada indiretamente pela quantidade de lixiviados presentes na solução de embebição das sementes. Assim, maiores quantidades de lixiviados correspondem a lotes de menor qualidade, indicando uma maior desorganização e dano das membranas das sementes [17].

É interessante observar que, embora este teste tenha categorizado os lotes 1 e 4 como de qualidade inferior, tal avaliação destoa dos resultados anteriores, nos quais esses mesmos lotes foram consistentemente considerados como portadores de alto vigor. Vale mencionar que as sementes utilizadas neste estudo foram tratadas comercialmente com agente químico antes da realização dos testes, e essa intervenção pode ter influenciado nos resultados.

Em outros estudos, como os realizados por Pereira et al. (2021) [22] e Vazquez et al. (2014) [23] em sementes de soja e milho, respectivamente, os resultados obtidos após o tratamento coincidiram com os demais testes, destacando a capacidade do teste de condutividade elétrica em estratificar lotes vigorosos mesmo após as serem submetidas ao processo de tratamento com agente químico.

A Figura 3 evidencia diferenças na coloração da solução entre os lotes testados, sugerindo uma possível falta de homogeneidade no momento do tratamento das sementes. Esse fator poderia ter influenciado os resultados obtidos no teste de condutividade elétrica. É válido mencionar que diversos fatores, incluindo o volume de água, qualidade da água, temperatura e umidade inicial das sementes, além do tratamento protetivo empregado, podem interferir na leitura e nos resultados do teste de condutividade elétrica [24].

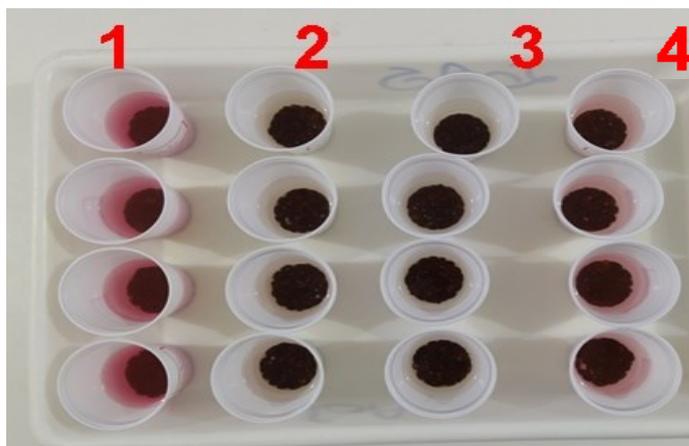


Figura 3 - Lotes de sementes de melancia (*Citrullus lanatus*) submetido ao teste de condutividade elétrica após tratamento comercial.

A representação gráfica presente na Figura 4 oferece um panorama do tempo requerido para que os diversos lotes alcancem os teores de água previamente definidos para condução do teste de deterioração controlada. Evidentemente, é perceptível que, a fim de atingir o teor de água de 18%, todos os lotes demandaram, em média, aproximadamente 7 minutos. No caso do teor de água de 24%, a média temporal se estabeleceu em cerca de 13 minutos. Importante notar que o lote 4 divergiu levemente dos demais, o que era previsível devido ao seu teor de água inicialmente mais baixo, conforme apresentado na Figura 1.

É plausível sugerir que o método do substrato úmido favoreceu essa rápida absorção de água pelas sementes. Nesse contexto, visto que neste método as sementes são imersas diretamente no substrato saturado com água, tal padrão de comportamento era esperado. Convém ressaltar que, para a execução do teste de deterioração controlada, essa característica exerce um efeito positivo, acelerando as etapas do procedimento do teste.

A etapa de padronização inicial do teor de água no teste de deterioração controlada merece particular atenção, pois desempenha um papel crucial na determinação do sucesso do teste. Tal

etapa requer um enfoque rigoroso, uma vez que a homogeneidade do teor de água é vital para evitar discrepâncias na atividade metabólica, velocidade de embebição e intensidade do processo de deterioração durante o teste.

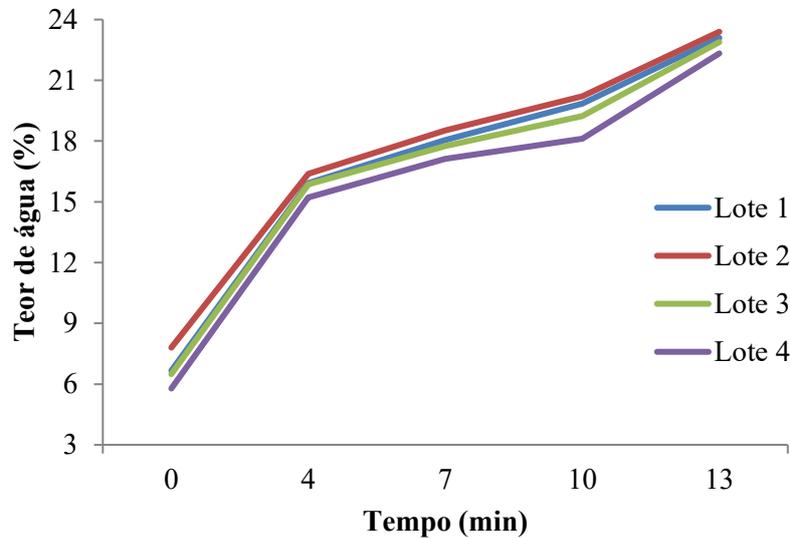


Figura 4 - Curva de embebição temporal para a alcance de teores de água pré-determinados (18% e 24%) em sementes de melancia para condução do teste de deterioração controlada

Conforme os registros apresentados na Tabela 1 referentes ao teor de água após procedimento de embebição demonstra que os teores de água iniciais dos lotes não exibiram uma amplitude substancial de variação. Esse padrão é altamente vantajoso, uma vez que a pequena discrepância sugere que o teor de água não foi capaz de exercer influência significativa sobre as respostas dos testes de vigor. Nota-se, assim, que essa margem de variação se encontra dentro do limite aceitável de até 2% para o sucesso do teste de deterioração controlada, conforme preconizado por Marcos-Filho (2015) [17]. Essa conformidade é de relevância crítica para o teste de deterioração controlada. Este aspecto é particularmente evidente na etapa inicial do teste, que envolve a padronização do teor de água. A consistência observada nesse aspecto contribui para que o tempo necessário para que todos os lotes alcancem o teor de água desejado não apresente disparidades significativas.

Os dados relativos ao teor de água dos lotes de sementes de melancia submetidos ao teste de deterioração controlada estão apresentados na Tabela 1. Esses valores validam a eficácia do referido teste em manter os teores de água conforme previamente estabelecidos. Tal consistência é crucial para garantir a acurácia dos resultados, uma vez que as variações se mantiveram abaixo do limite de 2%. Dessa forma, essa discrepância mínima possivelmente não desempenhou um papel de relevância na influência sobre os resultados.

Tabela 1 - Teor de água de sementes de melancia após o teste de deterioração controlada.

Lotes	Teor de água								
	Inicial	18%				24%			
		Temperatura (°C) / Tempo (h)				Temperatura (°C) / Tempo (h)			
		41 / 48	41 / 72	45 / 48	45 / 72	41 / 48	41 / 72	45 / 48	45 / 72
1	6,7	17,8	17,0	18,4	19,4	23,9	25,3	23,4	23,5
2	7,8	18,3	18,9	18,6	17,6	24,6	24,6	23,7	24,4
3	6,5	18,7	18,3	18,4	18,4	24,0	25,6	24,6	24,1
4	5,8	18,3	18,1	18,3	18,3	24,5	25,3	24,0	23,5

O teor de água das sementes emerge como uma característica fundamental para a uniformização dos mais variados métodos empregados na avaliação da qualidade das sementes. Essa uniformidade facilita a obtenção de resultados consistentes entre diferentes laboratórios e mesmo dentro de um mesmo laboratório, conforme sustentado por Oliveira et al. (2016) [25].

No que diz respeito às observações provenientes do teste de deterioração controlada, especificamente para o teor de água de 18% em conjunção com a temperatura de 41°C e exposição de 48 horas, as informações presentes na Tabela 2 revelam a capacidade desse teste em estratificar os lotes de sementes em três distintos níveis de vigor. Nessa análise, o lote 1 emergiu como portador de maior vigor, enquanto os lotes 2 e 4 exibiram vigor intermediário, e o lote 3, em comparação, apresentou vigor inferior em relação aos demais. Importante notar que essa conclusão se alinha com os resultados dos testes de germinação e emergência de plântulas, os quais também foram eficazes em categorizar os lotes em três níveis de vigor (Figura 1). Dentro deste contexto, já é possível observar um acentuado decréscimo na taxa de germinação. Como exemplo, o lote 1, originalmente com uma taxa de germinação de 98% no teste de germinação, sofreu uma redução de 10% após a exposição à combinação (18%-41°C-48H). No entanto, esse lote ainda conseguiu se manter em uma posição superior em relação aos demais.

No cenário que envolve a combinação (18%-41°C-72H), o lote 1 continua a ser classificado como portador de maior vigor, juntamente com o lote 2 (Tabela 2). É observável que essa combinação favoreceu um aumento na taxa de germinação do lote 2. Esse mesmo padrão foi constatado no teste de envelhecimento acelerado, no qual o lote 2 apresentou um incremento na taxa de germinação após a exposição ao envelhecimento acelerado, quando comparado ao teste de germinação.

Esta observação pode indicar que o lote 2 possui uma certa tolerância a altas temperaturas. Por outro lado, os lotes 3 e 4 foram caracterizados por um vigor reduzido. Vale ressaltar que, nessa situação, somente foi possível estratificar o vigor em dois níveis, indicando que a combinação não é tão sensível para categorizar os lotes em diferentes níveis de vigor.

Já no contexto da combinação (18%-45°C-48H), os lotes 1 e 4 mantiveram um vigor superior em relação aos demais. Intrigante é o fato de que, apesar do aumento da temperatura para 45°C, essa circunstância não resultou em uma redução das taxas de germinação desses lotes. O lote 2 exibiu um vigor intermediário, enquanto o lote 3 foi classificado com um vigor inferior em comparação aos demais.

Tabela 2 - Desdobramento da interação significativa entre os lotes, teores de água e tempo de exposição, em relação à porcentagem de germinação em lotes de sementes de melancia no teste de deterioração controlada.

Lotes	Teores de água ¹							
	18% ¹				24% ¹			
	Temperatura (°C) / Tempo (h)				Temperatura (°C) / Tempo (h)			
	41 / 48	41 / 72	45 / 48	45 / 72	41 / 48	41 / 72	45 / 48	45 / 72
1	88aA	70aB	70aAB	68aB	93aA	76aA	61abB	47aC
2	61bcA	69aA	39bcB	42bcB	82abA	69aA	38cB	39aB
3	56cA	42bAB	37cB	29cB	71bA	55bB	51bcB	44aB
4	73bA	52bB	52aB	54bB	73bA	68abA	66aA	37aB
CV(%)	12,76							

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Em um estudo concernente à cultura do coentro, Torres et al. (2012) [26] observaram resultados discrepantes ao empregar a mesma combinação mencionada anteriormente. No caso do coentro, a combinação (18%-45°C-48H) somente foi capaz de estratificar os lotes em dois níveis de vigor, revelando que os lotes de sementes de melancia se mostraram mais sensíveis a essa combinação. Porém, Alves et al. (2011) [27] obtiveram um resultado semelhante com a cultivar "cultivada" de rúcula, na qual a combinação (18%-45°C-48H) conseguiu classificar os lotes em três níveis de vigor. Notavelmente, nesse estudo, essa combinação não resultou em reduções drásticas nas taxas de germinação, como observado nas sementes de melancia.

Adicionalmente, conforme os dados da Tabela 2, a combinação (18%-45°C-72H) também classificou os lotes em três níveis de vigor. Substancialmente, o lote 1 se destacou por apresentar vigor superior aos demais. Os lotes 2 e 4 foram enquadrados como de vigor intermediário, enquanto o lote 3 exibiu vigor inferior em relação aos demais. Dessa forma, em relação ao lote 3, fica evidente sua sensibilidade a altas temperaturas, uma vez que esse lote consistentemente demonstrou vigor inferior em todas as combinações mencionadas até então. Esse comportamento assemelha-se ao observado no teste de envelhecimento acelerado (Figura 2).

Particularmente para o teor de água de 24% em conjunto com a temperatura de 41°C e um período de exposição de 48 horas (Tabela 2), o teste revelou sua eficácia em estratificar os lotes de sementes em três diferentes níveis de vigor. O lote 1 obteve um desempenho superior, enquanto o lote 2 demonstrou vigor intermediário, e os demais lotes apresentaram vigor inferior. É digno de nota que, independentemente do lote, houve um aumento na taxa de germinação das sementes. Este aumento pode ser atribuído ao incremento no teor de água das sementes, o qual pode ter favorecido o processo de germinação.

No que diz respeito à combinação (24%-41°C-72H; Tabela 2), também houve a classificação dos lotes em três níveis de vigor. Neste caso, os lotes 1 e 2 exibiram vigor superior, o lote 4 mostrou vigor intermediário, e o lote 3 apresentou qualidade inferior. A combinação (24%-45°C-48H) possibilitou a classificação dos lotes em três distintos níveis de vigor: o lote 4 com qualidade superior, os lotes 1 e 3 com vigor intermediário, e o lote 2 com vigor inferior em comparação aos demais.

Esta observação mantém coerência com os resultados dos testes preliminares, onde o lote 2 geralmente apresentava desempenho inferior. Alves et al. (2011) [27] também constataram resultados similares ao utilizar o teste de deterioração controlada em sementes de rúcula sob a mesma combinação. Nesse estudo, os autores conseguiram categorizar os lotes em três níveis de vigor, ao mesmo tempo que notaram uma redução significativa na taxa de germinação das sementes. De acordo com Lima e Marcos-Filho (2011) [28], o teste de deterioração controlada também foi eficiente em classificar lotes de pepino em três níveis de vigor utilizando a combinação (24%-45°C-48H).

Entretanto, ao expor as sementes à combinação (24%-45°C-72H), não foi possível estratificar os lotes, sugerindo que esse protocolo não é adequado para avaliar o vigor das sementes de melancia por meio do teste de deterioração controlada (conforme Tabela 2). Esse resultado pode ser atribuído à exposição excessiva a condições de alta temperatura e umidade, o que intensificou os processos de deterioração em todos os lotes.

É bem estabelecido que altas temperaturas podem causar danos nas membranas das sementes, afetando sua permeabilidade. Além disso, altas temperaturas estimulam o aumento da taxa respiratória dos tecidos, induzem mudanças na atividade enzimática e reduzem o conteúdo de reservas das sementes. Esses fatores contribuem para a intensificação dos processos de deterioração nas sementes [29].

De forma geral, observa-se que a temperatura de 45°C, associada aos teores de água de 18% e 24%, e aos tempos de exposição de 48 horas e 72 horas, resultou em uma acentuada redução na taxa de germinação das sementes (conforme Tabela 2). Isso indica que, dentro dos parâmetros estudados, essa temperatura é capaz de estimular os processos de deterioração nas sementes de melancia. Adicionalmente, o lote 1, em grande parte dos cenários, destacou-se em vigor em comparação aos demais lotes. Por conseguinte, este lote é considerado o mais vigoroso.

Os resultados deste estudo evidenciam que as diferentes combinações utilizadas no teste de deterioração controlada foram eficazes em deteriorar as sementes. Entretanto, as combinações (18%-41°C-48H) e (18%-45°C-48H) mostraram-se particularmente promissoras, permitindo uma estratificação significativa entre os lotes. Isso foi respaldado pelas correlações significativas e positivas entre as diferentes combinações do teste de deterioração controlada (Figura 5) e os testes de caracterização inicial dos lotes.

A combinação (18%-41°C-48H) apresentou forte correlação com os testes de germinação, IVE, envelhecimento acelerado e emergência em campo. A combinação (18%-45°C-48H) também demonstrou forte correlação com esses testes, assim como com a condutividade elétrica

(Figura 5). Essa evidência indica que as combinações mencionadas são tão eficazes quanto os testes de caracterização realizados. Portanto, essas combinações foram consideradas ideais para diferenciar lotes de sementes de melancia pelo teste de deterioração controlada.

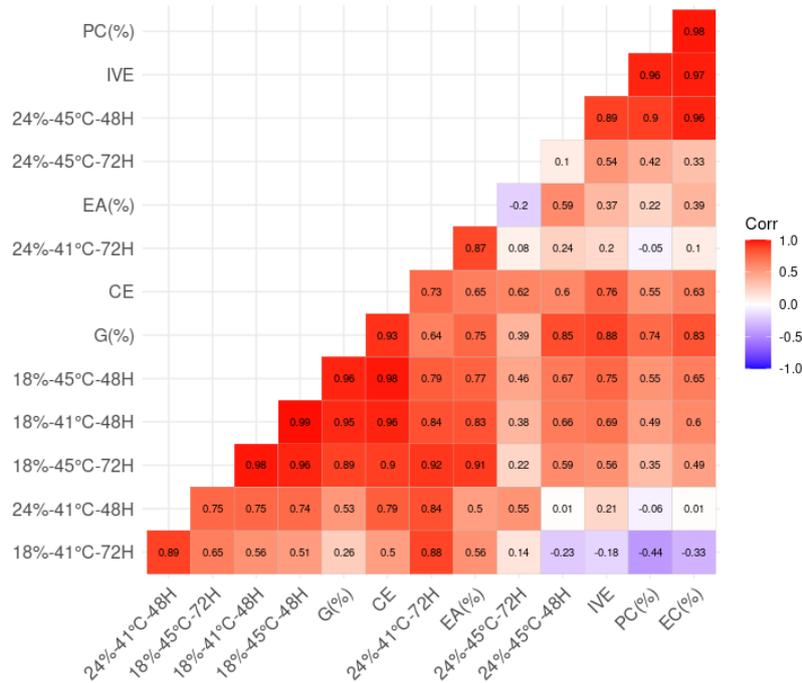


Figura 5 - Coeficientes de correlação simples (r) entre os resultados obtidos nos testes de deterioração controlada (DC%) e de germinação (G%), primeira contagem (PG%), emergência em campo (EC%), índice de velocidade de emergência (IVE), envelhecimento acelerado (EA%), massa seca de plântulas (MSP g), condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}\cdot\text{l}\cdot\text{g}\cdot\text{l}$) realizado com as sementes dos quatros lotes de melancia. significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Adicionalmente, a utilização dessas combinações se mostra ainda mais atraente devido à demanda reduzida de tempo nas atividades laboratoriais necessárias para a preparação do teste, contribuindo para uma otimização eficiente do processo. Um achado semelhante foi observado por Leão-Araújo et al. (2017) [12] ao trabalhar com sementes de Crambe. Esses pesquisadores também determinaram que o teor de umidade de 18% foi o mais apropriado para o teste de deterioração controlada.

4. CONCLUSÃO

O teste de deterioração controlada foi eficiente para a estratificação dos lotes de sementes de melancia quanto ao vigor e, para esta finalidade, o teor de água deve ser ajustado para 18%, podendo ser usando a temperatura de 41 ou 45°C durante 48 horas.

5. AGRADECIMENTOS

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – (FUNCAP) pelo apoio através de concessão de bolsa de estudo de Mestrado. À empresa Horticeres pela doação das sementes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mercado MFO, Zamora OB. Food safety and security in the Philippines: the role of seed. *J Develop Sustainable Agr.* 2010;5(1):121-30. doi: 10.11178/jdsa.5.121
2. Roach T, Nagel M, Börner A, Eberle C, Kranter I. Changes in tocochromanols and glutathione reveal differences in the mechanisms of seed ageing under seedbank conditions and controlled deterioration in barley. *Environ Exp Bot.* 2018;156:8-15. doi: 10.1016/j.envexpbot.2018.08.027
3. Dantas MSM, Granjeiro LC, Medeiros JF, Cruz CA, Cunha AP. Rendimento e qualidade de frutos de melancia cultivada sob proteção de agrotêxtil combinado com “mulching” plástico. *Rev Bras Eng Agríc Ambient.* 2013;17(8):824-9. doi: 10.1007/978-1-4614-4693-4
4. Xin X, Tian Q, Yin G, Chen X, Zhang J, Ng S, et al. Reduced mitochondrial and ascorbate-glutathione activity after artificial ageing in soybean seed. *J Plant Physiol.* 2014;171(2):140-7. doi: 10.1016/j.jplph.2013.09.016
5. Righetti K, Vu JL, Pelletier S, Vu BL, Glaab E, Lalanne D, et al. Inference of longevity-related genes from a robust coexpression network of seed maturation identifies regulators linking seed storability to biotic defense-related pathways. *Plant Cell.* 2015;27(10):2692-708. doi: 10.1105/tpc.15.00632
6. Powell AA, Matthews S. Evaluation of controlled deterioration a new vigour test for small seeds vegetables. *Seed Sci Technol.* 1981;9(2):633-40.
7. Marinke LS, Catão HCR, Martins GZ, Castilho IM, Caixeta F. Vigor of lentil seeds evaluated by the tests of accelerated aging and controlled deterioration. *Braz J Develop.* 2019;5(12):30846-58. doi: 10.34117/bjdv5n12-194
8. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília (DF): MAPA/ACS; 2009.
9. Vieira RD, Krzyzanowski FC. Teste de condutividade elétrica. In: Krzyzanowski FC, Vieira RD, França Neto JB, editores. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina (PR): ABRATES; 2020. p. 333-88.
10. Maguire JD. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 1962;2(2):176-7.
11. Zucareli C, Cavariani C, Sbrussi CAG, Nakagawa J. Teste de deterioração controlada na avaliação do vigor de sementes de milho. *Rev Bras Sementes.* 2011;33(4):732-42. doi: 10.1590/S0101-31222011000400015
12. Leão-Araújo EF, Santos JF, Silva CB, Marcos Filho J, Vieira RD. Controlled deterioration test and use of the Seed Vigor Imaging System (SVIS®) to evaluate the physiological potential of crambe seeds. *J Seed Sci.* 2017;39(4):393-400. doi: 10.1590/2317-1545v39n4177911
13. Powell AA. The controlled deterioration test. In: Venter HAVD, editor. Seed vigour testing seminar. Zürich: International Seed Testing Association; 1995. p. 73-87.
14. Ferreira DF. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Rev Bras Biometria.* 2019;37(4):529-35. doi: 10.28951/rbb.v37i4.450
15. R Core Team. R: a language and environment for statistical computing; 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.
16. Oliveira LM, Cavalheiro VBD, Moraes DM, Tilmann MAA, Schuch LOB. Medição do CO₂ como método alternativo para a diferenciação do vigor de lotes de sementes de melancia. *Cienc Rural.* 2015;45(4):606-11. doi: 10.1590/0103-8478cr20130594
17. Marcos-Filho J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2ª ed. Londrina (PR): ABRATES; 2015.
18. Medeiros MA, Torres SB, de Negreiros MZ, Madalena JAS. Testes de estresse térmico em sementes de melão. *Rev Bras Cienc Agrar.* 2014;9(1):7-13. doi: 10.5039/agraria.v9i1a2393
19. Radke AK, Soares VN, Xavier FM, Eberhardt PER, Martins ABN, Villela FA. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de melancia pelo teste de envelhecimento acelerado. *Rev Verde.* 2017;12(4):634-40. doi: 10.18378/rvads.v12i4.4862
20. Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy. 3rd ed. New York (US): Springer; 2013. doi: 10.1007/978-1-4614-4693-4
21. Amaro HTR, David AMSS, Assis MO, Rodrigues BRA, Canguçu LVS, Oliveira MB. Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro. *Rev Cienc Agrar.* 2015;38(3):383-9. doi: 10.19084/rca.16943
22. Pereira RC, Pereira LC, Braccini AL, Correia LV, Pelloso MF, Matera TC, et al. Physiological quality of soybean seeds stored after industrial treatments with different chemicals. *Res Soc Dev.* 2021;10(2):e6310212279. doi: 10.33448/rsd-v10i2.12279
23. Vazquez GH, Cardoso RD, Peres AR. Tratamento químico de sementes de milho e o teste de condutividade elétrica. *Biosci J.* 2014;30(3):773-81.
24. Krzyzanowski FC, Vieira RD, França-Neto JB, Marcos-Filho J, editores. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina (PR): ABRATES; 2020.

25. Oliveira AS, Nery MC, Ribeiro KG, Rocha AS, Cunha PT, Pires RM. Methodological adjustments to the vigor tests in *Brachiaria brizantha* Marandu cultivar seed. *Int J Curr Res.* 2016;8(2):26466-70.
26. Torres SB, Dantas AH, Pereira MFS, Benedito CP, Silva FHA. Deterioração controlada em sementes de coentro. *Rev Bras Sementes.* 2012;34(2):319-26. doi: 10.1590/S0101-31222012000200018
27. Alves CZ, Godoy AR, Candido ACS, Sá ME. Qualidade fisiológica de sementes de *Eruca sativa* L. pelo teste de deterioração controlada. *Cienc Rural.* 2011;41(12):2029-95 doi: 10.1590/S0103-84782011001200009
28. Lima BL, Marcos-Filho J. Procedimentos para condução de testes de vigor baseados na tolerância ao estresse térmico em sementes de pepino. *Rev Bras Sementes.* 2011;33(1):45-53. doi: 10.1590/S0101-31222011000100005
29. Marini P, Moraes CL, Marini N, Moraes DM, Amarante L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. *Rev Cienc Agronom.* 2012;43(4):722-30. doi: 10.1590/S1806-66902012000400014