



## Tamanho de sementes e estresse hídrico e salino na germinação do milho

### *Seed size and water and saline stress in corn germination*

Alan Mario Zuffo<sup>1</sup>, Fábio Steiner<sup>2</sup>, Augusto Matias de Oliveira<sup>3</sup>, Rafael Felipe Ratke<sup>4</sup>, Jorge González Aguilera<sup>2</sup>, Adaniel Sousa dos Santos<sup>5</sup>

**RESUMO:** O estresse hídrico e salino tem efeito negativo sobre a germinação e o vigor das plântulas de milho. Há evidências de que o vigor da semente, que muitas vezes está associado ao seu tamanho, pode ser uma alternativa para mitigar os efeitos dos estresses abióticos na cultura do milho. Este estudo avaliou o efeito do tamanho e do formato da semente no processo de germinação das sementes de milho expostas às condições de estresse hídrico e salino induzidas por soluções de polietilenoglicol (PEG) e de cloreto de sódio (NaCl), respectivamente. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $5 \times 3$ , com quatro repetições. Os tratamentos constituíram de cinco classes de tamanhos e formatos de semente [semente pequena curta (20C), pequena longa (20L), média curta (22C), média longa (22L) e semente grande longa (24L)] e três tratamentos de estresse (controle, estresse hídrico e estresse salino). Foram avaliados a germinação, o crescimento e o vigor das plântulas. Os resultados evidenciaram que as classes de tamanho e formato das sementes de milho exercem efeito na taxa de germinação, crescimento e vigor das plântulas; no entanto, estes efeitos são dependentes das condições de estresses abióticos. Em condições não estressantes (controle) e sob estresse hídrico, o uso de sementes de milho médias e curtas (22C) e grandes e longas (24L) originam plântulas com maior crescimento e vigor. Em condições de estresse salino, a maior taxa de germinação e maior crescimento e vigor das plântulas podem ser obtidos com o uso de sementes de milho pequenas e curtas (20C) e médias e longas (22L).

**Palavras-chave:** PEG; NaCl; Vigor; *Zea mays*.

**ABSTRACT:** Water and saline stress have a negative effect on the germination and vigor of corn seedlings. There is evidence that seed vigor, which is often associated with its size, can be an alternative to mitigate the effects of abiotic stresses on corn crops. This study evaluated the effect of seed size and shape on the germination process of corn seeds exposed to water and saline stress conditions induced by polyethylene glycol (PEG) and sodium chloride (NaCl) solutions, respectively. A completely randomized design in a  $5 \times 3$  factorial scheme, with four replications was used. The treatments consisted of five classes of seed sizes and shapes [small short seed (20C), small long seed (20L), medium short seed (22C), medium long seed (22L) and large long seed (24L)] and three stress treatments (control, water stress and saline stress). The germination, growth and vigor of the seedlings were evaluated. The results showed that the size and shape classes of corn seeds have effect on the germination rate, growth and vigor of seedlings; however, these effects are dependent on abiotic stress conditions. Under non-stressful conditions (control) and under water stress, the use of medium and short (22C) and large and long (24L) corn seeds result in seedlings with greater growth and vigor. Under saline stress conditions, the highest germination rate and greater seedling growth and vigor can be obtained with the use of small and short (20C) and medium and long (22L) corn seeds.

**Keywords:** PEG; NaCl; Vigor; *Zea mays*.

**Autor correspondente:** Alan Mario Zuffo

E-mail: alan\_zuffo@hotmail.com

Recebido em: 29/12/2022

Aceito em: 01/11/2023

<sup>1</sup> Doutor em Agronomia Fitotecnia pela UFPA. Docente no Curso de Agronomia na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Balsas (MA), Brasil.

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia; Docente do curso de Agronomia da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Unidade Acadêmica de Cassilândia, Cassilândia (MS), Brasil.

<sup>3</sup> Pós-doutorando no Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde (GO), Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em Agronomia pela UFG. Docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul (MS), Brasil.

<sup>5</sup> Doutor em Ciências Agrárias na UFPI, Bom Jesus (PI), Brasil.

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos mais importantes cereais cultivados no mundo, principalmente devido ao seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutricional para alimentação animal e dieta humana (SOUSA *et al.*, 2020). Esta espécie tem sido cultivada em todas as regiões brasileiras devido à sua ampla adaptação às diferentes condições dos ambientes de produção. Porém, a utilização de sementes de alta qualidade é fator fundamental para o sucesso da produção de grãos da cultura, pois permite a obtenção de adequada emergência e estabelecimento das plantas no campo. O rápido estabelecimento da cultura no campo com plantas vigorosas, uniformes e robustas pode ser alcançado com a utilização de sementes de alta qualidade e vigor (HASAN *et al.*, 2021).

No entanto, em muitas situações, a ocorrência de estresses hídrico e salino pode limitar a germinação e o desenvolvimento das plantas de milho, causando grandes preocupações aos agricultores e perdas significativas na produtividade de grãos (AWAN *et al.*, 2021). Nas regiões áridas e semiáridas, a agricultura irrigada tem sido o principal consumidor de água (NAVARRO-HELLÍN *et al.*, 2015). As mudanças climáticas tendem a aumentar a aridez, disponibilizando água em menor quantidade e qualidade para a agricultura irrigada (NAVARRO-HELLÍN *et al.*, 2015). Arelado a isso, ainda se tem o aumento populacional, o que requer aumento da produção mundial de alimentos, e agricultura irrigada atende 40% dessa demanda de alimento (THE WORLD BANK, 2020).

Portanto, faz-se necessário o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis (ZHOU *et al.*, 2021), pois a qualidade e a disponibilidade de água são uns dos principais fatores que regula a germinação das sementes. A baixa disponibilidade de água e o excesso de sais na solução do solo no momento da semeadura pode prejudicar o estabelecimento das plantas agrícolas (SAUX *et al.*, 2020). O uso de sementes de alto vigor pode mitigar os efeitos dos estresses hídrico e salino, por acelerar a emergência e originar plântulas mais vigorosas e uniforme. O vigor das sementes é a qualidade fisiológica relacionada à emergência rápida e uniforme das plântulas e ao desenvolvimento das plantas sob distintas condições de solo (HASAN *et al.*, 2021).

A fase de plântula é muito vulnerável aos estresses hídrico e salino, pois a etapa de germinação da semente é crucial para todos os estágios sucessivos de desenvolvimento da cultura. A maior taxa de germinação das sementes sob condições estressantes possibilita que as plantas tenham maior desenvolvimento e produtividade em condições adversas (MAHPARA *et al.*, 2022). Dessa maneira, o adequado desenvolvimento das plantas, dentre outros fatores, depende das condições ambientais e da qualidade das sementes. De acordo com Kandasamy *et al.* (2020), o tamanho da semente tem grande importância no crescimento das plantas, resultando em plantas com diferentes vigores.

Substâncias osmóticas de alto peso molecular, como polietilenoglicol (PEG) e cloreto de sódio (NaCl) têm sido amplamente utilizadas para investigar o impacto dos estresses hídrico e salino durante a germinação das sementes e o crescimento das plântulas (ZHANG *et al.*, 2019; MAHPARA *et al.*, 2022). Assim, objetivou-se avaliar o efeito do tamanho e do formato das sementes de milho no processo de germinação e crescimento inicial das plantas expostas às condições de estresse hídrico e salino induzidas por soluções de PEG e de NaCl, respectivamente.

## MATERIAL E MÉTODOS

### MATERIAL VEGETAL E TRATAMENTOS DE ESTRESSE

Sementes de milho do híbrido LG 6304 PRO foram produzidas em condições de campo em Cassilândia, MS, Brasil (19°05'45" S, 51°48'52" W e altitude de 520 m) durante a safra 2020/2021, e

utilizadas neste estudo para investigar os efeitos do estresse salino e hídrico na germinação das sementes e no crescimento inicial das plantas. As temperaturas mínima e máxima do ar durante a safra de cultivo do milho foram de 21,3 e 38,1 °C, respectivamente, e a umidade relativa média do ar variou de 58% a 91%.

A colheita foi realizada manualmente no estágio fenológico R<sub>6</sub> (maturidade fisiológica das sementes). As espigas foram secas à sombra em temperatura ambiente, por 96 horas e, posteriormente, trilhadas mecanicamente em debulhador de grãos de milho (Vencedora Maqtron<sup>®</sup> modelo B-380, Joaçaba, SC, BRA). Após a limpeza, as sementes foram classificadas de acordo com seu tamanho e formato utilizando equipamento calibrador de precisão (CEA. Carter Day International, Minneapolis, Minnesota, EUA). Inicialmente, as sementes foram classificadas em três classes de largura por meio das peneiras de números 20 (sementes pequenas), 22 (sementes médias) e 24 (sementes grandes) e, depois, classificadas em duas classes de comprimento: sementes curtas (C) e sementes longas (L). Por fim, foram obtidas cinco classes: 20C (sementes pequenas curtas), 20L (sementes pequenas longas), 22C (sementes médias curtas), 22L (sementes médias longas) e 24L (sementes grandes longas). Para o híbrido de milho utilizado nesta pesquisa não houve sementes classificadas na peneira 24C (sementes grandes e curtas). Antes do início do estudo foram determinados o teor de água e a massa de mil sementes, conforme descrito nas Normas Oficiais para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). As principais características intrínsecas das sementes de milho utilizadas neste estudo são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classes de tamanho de sementes, massa de mil sementes, teor de água e taxa de germinação do híbrido de milho LG 6304 PRO utilizado neste estudo

Classe de peneira de milho	Largura da semente (mm)	Tamanho/formato da semente	MMS (g)	TA (%)
20C	<8,0	Semente pequena e curta	274	11,2
20L	<8,0	Semente pequena e longa	297	11,8
22C	8,0–9,5	Semente média e curta	326	11,6
22L	8,0–9,5	Semente média e longa	343	11,4
24L	>9,5	Semente grande e longa	402	12,0

MMG: massa de mil sementes. TA: Teor de água das sementes.

As sementes foram previamente desinfetadas por imersão por 10 min. em solução de hipoclorito de sódio a 1% (v/v), lavadas em água corrente e colocadas para germinar em condições estressantes (estresse hídrico e estresse salino) e não estressantes (controle). O estresse hídrico e salino foram induzidos pela exposição de sementes de cada classe de tamanho a soluções com potencial osmótico de -0,30 MPa preparadas com polietilenoglicol (PEG-6000) e cloreto de sódio (NaCl), respectivamente. A concentração de PEG-6000 necessária para obtenção da solução foi determinada pela equação de Michel e Kaufmann (1973):  $s = [- (1.18 \times 10^{-2}) \times C - (1.18 \times 10^{-4}) \times C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) \times C \times T + (8.39 \times 10^{-7}) \times C^2 \times T] / 10$ , onde  $s$  é o potencial osmótico (MPa),  $C$  é a concentração (g L<sup>-1</sup> de PEG-6000) e  $T$  é a temperatura (°C). A concentração de NaCl adicionada para obter a solução com potencial osmótico de -0,30 MPa foi calculada pela equação de van't Hoff (HILLEL, 1971):  $s = -R \times T \times C \times i$ , onde  $R$  é a constante universal de gás nobre (0,008314 MPa mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>),  $T$  é a temperatura absoluta (273,15 + °C),  $C$  é a concentração molar do soluto (mol L<sup>-1</sup>) e  $i$  é o fator van't Hoff, que é o número de íons liberados quando o soluto é dissolvido em água [ou seja, para NaCl esse valor é 2,0 (Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>)]. Água destilada com potencial osmótico de 0,00 MPa foi utilizada como controle.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $5 \times 3$ : cinco tamanhos e formatos de sementes [pequena curta (20C), pequena longa (20L), média curta (22C), média longa (22L) e grande longa (24L)] e três tratamentos de estresse (controle, estresse salino e hídrico), com quatro repetições.

#### CONDIÇÃO DE GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS

Quatro subamostras de 50 sementes de cada classe de tamanho foram colocadas para germinar em três folhas de papel toalha Germitest<sup>®</sup>, previamente umedecidas com água destilada (controle) ou soluções de PEG e NaCl de  $-0,30$  MPa, na proporção de três vezes a quantidade seca da massa do papel. Os rolos de papel Germitest foram acondicionados em sacos plásticos para evitar a evaporação e manter a umidade relativa próxima de 100%. A germinação foi realizada em câmara de crescimento com temperatura constante de  $25$  °C e fotoperíodo de 12/12 h (claro/escuro), durante 10 dias. Foi adicionado carboxina + tiram na concentração de 0,2% (v/v) nas soluções para controlar a infecção fúngica. As sementes foram consideradas germinadas quando a raiz primária apresentava comprimento superior a 10,0 mm.

#### MEDIÇÃO DA GERMINAÇÃO, CRESCIMENTO E VIGOR DAS PLÂNTULAS

As sementes germinadas foram registradas aos 4 dias (primeiro teste de contagem de germinação) e aos 10 dias (porcentagem de germinação total) após o início do teste de germinação. O comprimento da parte aérea (CPA) e o comprimento das raízes (CR) foram medidos em 15 plântulas normais obtidas aleatoriamente após a contagem da germinação total (10º dia) por meio de régua graduada em milímetros. Para determinar a matéria seca da parte aérea e das raízes, todas as plântulas obtidas ao final do teste de germinação (10º dia) foram separadas em parte aérea e raízes, secas em estufa de circulação forçada de ar a  $85$  °C por 48 horas e, então, pesadas em uma balança analítica. A determinação do teor relativo de água foi determinada conforme a metodologia de Weatherley (1950). Para determinar a relação raiz: parte aérea (RRPA), a matéria seca das raízes foi dividida pela matéria seca da parte aérea.

Os dados de porcentagem de germinação, comprimento total de plântulas e matéria seca total de plântulas foram utilizados para calcular os índices de vigor de plântulas em condições de estresse hídrico e salino. O índice de vigor de comprimento de plântula (IVCP) e o índice de vigor de matéria seca de plântula (IVMP) foram calculados pelas seguintes equações propostas por Abdul-Baki e Anderson (1973):  $IVCP = [\text{comprimento total da plântula (cm)} \times \text{germinação de semente (\%)}]$  e  $IVMP = [\text{matéria seca total da plântula (cm)} \times \text{germinação das sementes (\%)}]$ .

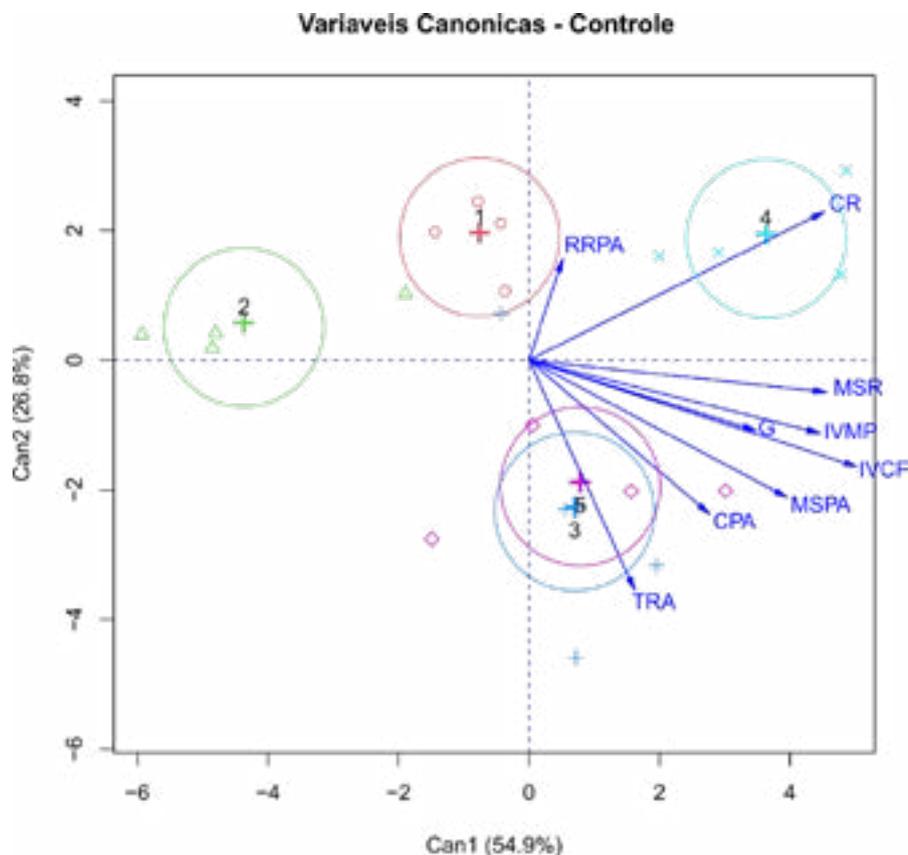
#### ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de correlação canônica (ACC) foi utilizada para estudar a inter-relação entre conjuntos (vetores) das variáveis independentes (tamanho da semente e tratamento de estresse) e dependentes (germinação, crescimento e vigor das plântulas). Análises de correlação baseadas na rede de correlação de Pearson (limiar estabelecido em 0,60,  $p < 0,05$ ) foram realizadas entre as características morfofisiológicas das plântulas de milho. A rede de correlação foi utilizada para ilustrar graficamente as análises de correlação de Pearson, em que a proximidade entre os nós é proporcional aos valores absolutos de correlação entre as características morfofisiológicas. A espessura relativa e a densidade de cor das bandas indicam a força dos coeficientes de correlação de Pearson, e a cor de cada banda indica uma correlação positiva ou negativa

(vermelho para negativo e verde para positivo). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Rbio versão 140 para Windows (Rbio Software, UFV, Viçosa, MG, BRA).

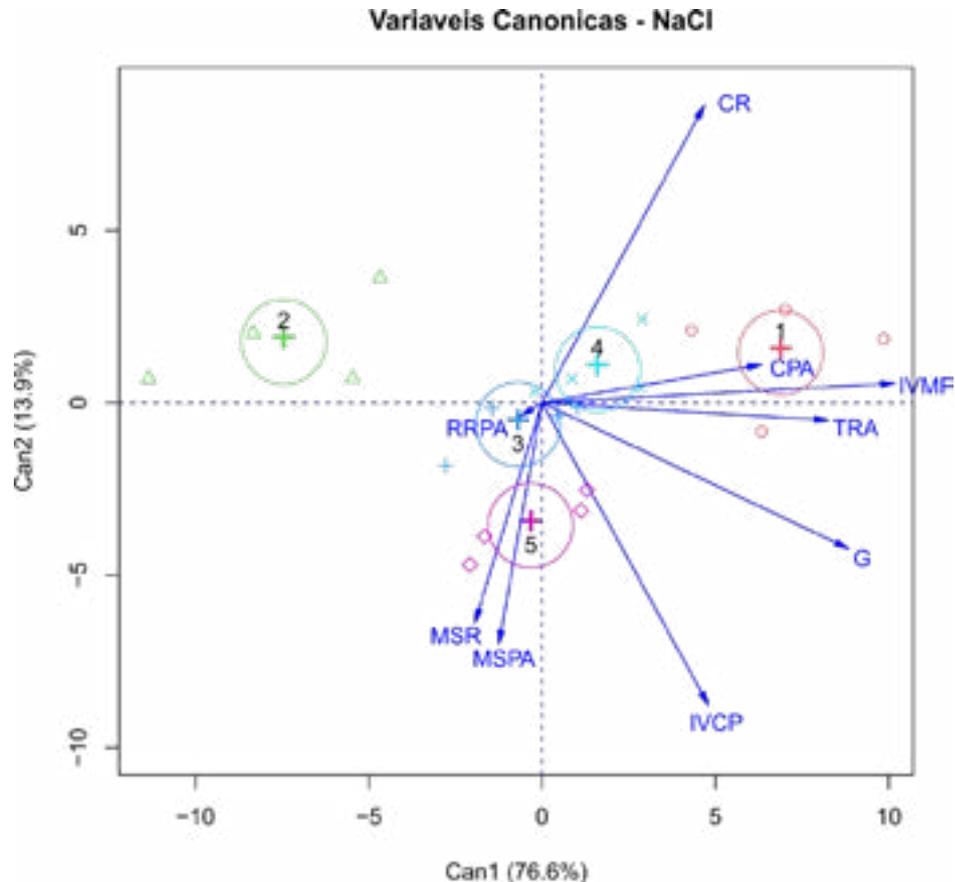
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em condições não-estressante (controle), as sementes de milho de tamanho 20C e 22L possuem maior razão matéria seca das raízes/parte aérea (RRPA) (Figura 1). As sementes de tamanho 22C possuem maior comprimento das raízes (CR), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA), índice de vigor de comprimento de plântula (IVMP), porcentagem de germinação (G) e maior índice de vigor de matéria seca de plântula (IVCP). Por sua vez, sementes de tamanho de 22L e 24L originam plântulas com maior teor relativo de água (TRA) e maior comprimento da parte aérea (CPA).



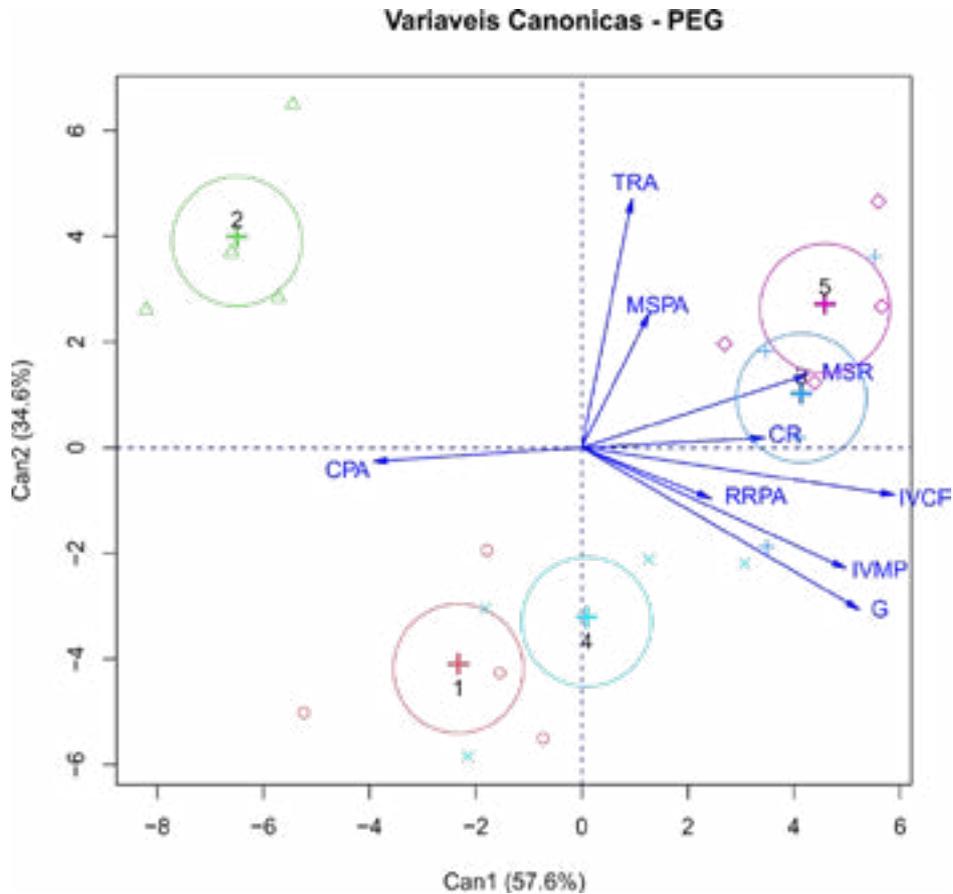
**Figura 1.** Análise de correlação canônica (ACC) entre as variáveis e suas variáveis canônicas em sementes de milho de distintas classes de tamanho e formato (1: 20C; 2: 20L; 3: 22C; 4: 22L; e 5: 24L). As linhas azuis mostram a correlação canônica entre os centróides do primeiro par de variáveis canônicas e a linha de tendência linear. Abreviação: G: germinação. CR: comprimento das raízes. CPA: comprimento da parte aérea. MSPA: matéria seca da parte aérea. MSR: matéria seca das raízes. TRA: teor relativo de água. RRPA: relação matéria seca da raiz/parte aérea. IVCP: índice de vigor de comprimento de plântula. IVMP: índice de vigor de matéria seca de plântula

Em condições de estresse salino induzido pela solução de NaCl, as sementes 20L originaram plântulas com maior comprimento das raízes (CR) (Figura 2). As sementes 22C e 22L possuem valores intermediários, ao passo que as sementes 24L possuem plântulas com maior matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e índice de vigor de comprimento de plântula (IVCP). As sementes 20C possuem maior comprimento da parte aérea (CPA), índice de vigor de matéria seca de plântula (IVMP), teor relativo de água (TRA) e porcentagem de germinação (G) (Figura 2).



**Figura 2.** Análise de correlação canônica (ACC) entre as variáveis e suas variáveis canônicas em sementes de milho de distintas classes de tamanho e formato (1: 20C; 2: 20L; 3: 22C; 4: 22L; e 5: 24L). As linhas azuis mostram a correlação canônica entre os centróides do primeiro par de variáveis canônicas e a linha de tendência linear. Abreviação: G: germinação. CR: comprimento das raízes. CPA: comprimento da parte aérea da plântula. MSPA: matéria seca da parte aérea. MSR: matéria seca das raízes. TRA: teor relativo de água. RRPA: relação matéria seca das raízes/parte aérea. IVCP: índice de vigor de comprimento de plântula. IVMP: índice de vigor de matéria seca de plântula

Em condições de estresse hídrico induzido pela solução de PEG, as sementes 20L originaram plântulas de milho com maior teor relativo de água (TRA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e comprimento da parte aérea (CPA) (Figura 3). Todas as demais variáveis correlacionaram-se positivamente com as sementes das classes 24L e 22C. Estes resultados indicam que sementes de milho grandes e compridas (24L) e médias e curtas (22C) diferiram dos demais tamanhos de sementes (Figura 3). As sementes 20C e 22L possuem valores intermediários para as características de germinação e crescimento inicial quando expostas às condições de estresse hídrico.



**Figura 3.** Análise de correlação canônica (ACC) entre as variáveis e suas variáveis canônicas em sementes de milho de distintas classes de tamanho e formato (1: 20C; 2: 20L; 3: 22C; 4: 22L; e 5: 24L). As linhas azuis mostram a correlação canônica entre os centróides do primeiro par de variáveis canônicas e a linha de tendência linear. Abreviação: G: germinação. CR: comprimento das raízes. CPA: comprimento da parte aérea. MSPA: matéria seca da parte aérea. MSR: matéria seca das raízes. TRA: teor relativo de água nas plântulas. RRPA: relação matéria seca das raízes/parte aérea. IVCF: índice de vigor de comprimento de plântula. IVMP: índice de vigor de matéria seca de plântula

O rendimento das culturas pode ser limitado pelos estresses hídrico e salino, pois são fatores abióticos que reduzem a germinação das sementes e o vigor das plântulas, por afetar as características fisiológicas e bioquímicas, mecanismos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plântulas (MA *et al.*, 2011). Um dos efeitos dos estresses abióticos é o aumento do acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO<sub>s</sub>), que resulta na ativação da transcrição de genes da NADPH oxidase, como *RbohD*, o que pode controlar o desenvolvimento das plantas, incluindo a germinação das sementes (LUO *et al.*, 2020). Ainda conforme os mesmos autores, o *Abscisic Acid-Insensitive 4* (ABI4), componente chave na sinalização do ácido abscísico, se liga diretamente ao *RbohD* e a *Vitamina C Defective 2*, que são os principais genes envolvidos na síntese e eliminação das ERO<sub>s</sub>, controlando o metabolismo das plantas durante a germinação das sementes e o crescimento inicial das plantas expostas às condições ambientais estressantes. O acúmulo de ERO<sub>s</sub> promove danos oxidativos a membrana celular e reduz o vigor das sementes e das plântulas.

Os estresses abióticos podem prejudicar a germinação e o crescimento das plântulas, e o uso de sementes de alto vigor pode resultar no aumento da taxa de germinação. No presente estudo, o efeito do tamanho das sementes sobre a germinação e o vigor de plântulas de milho em condições de estresse abiótico foi dependente do tipo de estresse (hídrico ou salino). Em condições controle, as sementes de milho grandes e longas (24L) e média e curtas (22C) originam plântulas com as melhores características de germinação, crescimento e vigor de planta, exceto para relação matéria seca das raízes/parte aérea (RRPA) e comprimento das raízes (CR), que foram características associadas ao uso de sementes médias e

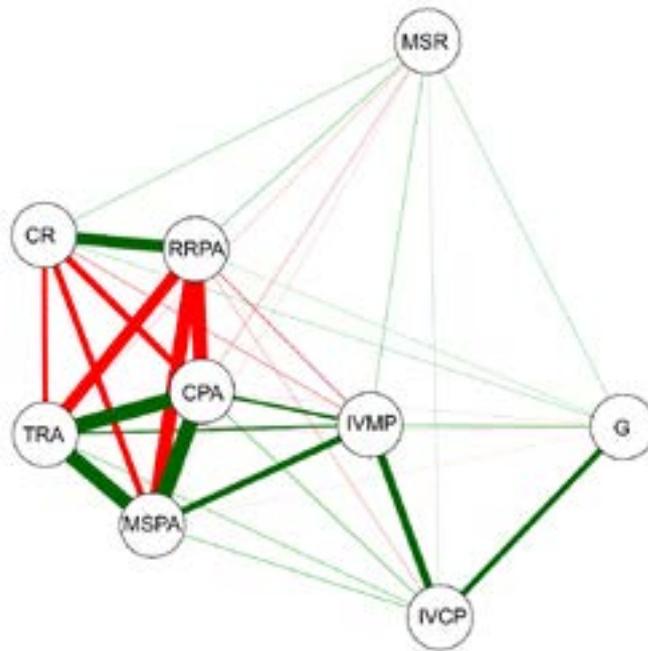
longas (22L). Em condições de estresse salino, as sementes de milho pequenas e curtas (20C) e grandes e longas (24L) originam plântulas com maior crescimento e vigor, ao passo que sob condições de estresse hídrico, as sementes médias e curtas (22C) e grandes e longas (24L) possuem as maiores médias para as características de crescimento e vigor de plântulas, exceto para comprimento da parte aérea (CPA), teor relativo de água (TRA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) que foram características associadas ao uso de sementes pequenas e longas (20L).

A germinação e o crescimento inicial das plântulas de milho sob condições controle sob estresse hídrico possuem melhores desempenho quando foram utilizadas sementes médias (22C e 22L) e sementes grandes (24L). O controle do processo de germinação das sementes é realizado por várias enzimas, e a quantidade de reservas da semente é fator determinante para a síntese de energia para a ativação do crescimento do eixo embrionário. A redução do potencial osmótico do meio de germinação interrompe a atividade de várias enzimas, resultando na perda do potencial de germinação das sementes (BILLAH *et al.*, 2021). Além da interrupção da atividade enzimática, tem-se a menor embebição de água, não atendendo as necessidades de umidade das sementes necessárias para a germinação das mesmas (BILLAH *et al.*, 2021). Assim, sementes com maior vigor tem maiores chances de germinarem quando submetidas às condições estressantes, pois o vigor pode ser entendido como a capacidade de emergir uniformemente mesmo sob condições ambientais adversas (KANDASAMY *et al.*, 2020).

Em geral, as sementes de milho de tamanho médio e grande (22C, 22L e 24L) possuem as melhores performance para as características de germinação, crescimento e vigor das plântulas. No entanto, dependendo das condições ambientais, as sementes de milho pequenas (20C e 20L) também possuem algumas características de crescimento das plântulas com alta performance. O tamanho das sementes tem grande impacto no estabelecimento e crescimento das plântulas de milho (KANDASAMY *et al.*, 2020). Esses autores observaram que as sementes maiores originaram plântulas com maior vigor, isso porque o vigor das sementes pequenas é menor do que o das sementes grandes.

No entanto, o tamanho das sementes nem sempre estará diretamente relacionado com o vigor e crescimento das plântulas. Avaliando três variedades de milho, Kandasamy *et al.* (2020) reportaram que nem sempre as sementes maiores possuem o melhor desempenho durante o processo de germinação. No presente estudo, também foi observado que dependendo do tipo de estresse abiótico, algumas características das plântulas, nem sempre possuem os melhores valores para as sementes de tamanho médio e grande.

A germinação das sementes (G) se correlacionou positivamente com índice de vigor de comprimento de plântula (IVCP) e o IVCP com o índice de vigor de matéria seca de plântula (IVMP) (Figura 4). O comprimento das raízes (CR) e relação matéria seca das raízes/parte aérea (RRPA) correlacionaram-se positivamente entre si, e negativamente com o comprimento da parte aérea (CPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e teor relativo de água das plântulas (TRA) (Figura 4). O teor relativo de água (TRA) teve forte correlação positiva com o comprimento da parte aérea (CPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), da mesma maneira que a MSPA com o CPA.



**Figura 4.** Redes de correlação que ilustram as correlações de Pearson mais significativas entre as características morfológicas e fisiológicas das plântulas de milho. As linhas mais grossas e verdes representam as correlações positivas mais altas (limiar definido em 0,60 e valores de  $p < 0,05$ ). As linhas mais grossas e vermelhas representam as correlações negativas mais altas (limiar definido em 0,60 e valores de  $p < 0,05$ ). Abreviaturas: G: germinação, CR: comprimento das raízes. CPA: comprimento da parte aérea. MSPA: matéria seca da parte aérea. MSR: matéria seca das raízes. TRA: teor relativo de água, RRPA: relação matéria seca das raízes/parte aérea. IVCP: índice de vigor de comprimento de plântula; IVMP: índice de vigor de matéria seca de plântula

O índice de vigor de matéria seca de plântula (IVMP), além da MSPA e G, correlacionou-se positivamente com o CPA e com o índice de vigor de comprimento de plântula (IVCP) (Figura 4). O comprimento da parte aérea (CPA) correlacionou-se positivamente com teor relativo de água (TRA) e matéria seca da parte aérea (MSPA). Quanto maior a absorção de água pelas sementes, melhor tende a ser a porcentagem de germinação (BHATT et al., 2022) e conseqüentemente, o crescimento das plântulas, resultando em maior MSPA. A correlação positiva do comprimento das raízes (CR) com a relação matéria seca das raízes/parte aérea (RRPA) foi esperada, pois quanto maior o CR maior tende ser a RRPA. A correlação negativa do CR e RRPA com o CPA, TRA e MSPA indica que a maior parte das reservas das sementes foi destinada para o crescimento da parte aérea. A correlação positiva do índice de vigor de matéria seca de plântula (IVMP) com o CPA, MSPA, TRA e IVCP indica que estas variáveis estão diretamente relacionadas, pois para se ter um adequado IVMP é necessária uma excelente absorção de água, que resultará num maior TRA e isso proporcionará melhor crescimento da parte aérea (CPA), resultando, conseqüentemente, em maior MSPA e IVMP.

## CONCLUSÕES

As classes de tamanho e formato das sementes de milho exercem efeito na taxa de germinação, crescimento e vigor das plântulas; no entanto, estes efeitos são dependentes das condições de estresses abióticos.

Em condições não estressantes (controle) e sob estresse hídrico, o uso de sementes de milho médias e curtas (22C) e grandes e longas (24L) originam plântulas com maior crescimento e vigor.

Em condições de estresse salino, a maior taxa de germinação e maior crescimento e vigor das plântulas podem ser obtidos com o uso de sementes de milho pequenas e curtas (20C) e médias e longas (22L).

Em geral, sementes de milho de tamanho médio e grande possuem as maiores taxas de germinação, e originam plântulas com melhor crescimento e vigor quando expostas aos estresses abióticos.

## REFERÊNCIAS

- ABDUL-BAKI, A.A; & ANDERSON, J.D. Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. *Crop Science*, v. 13, p. 630-633, 1973. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- AWAN, S.A. et al. Exogenous abscisic acid and jasmonic acid restrain polyethylene glycol induced drought by improving the growth and antioxidative enzyme activities in pearl millet. *Physiologia Plantarum*, v. 172, n. 2, p. 809-819, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1111/ppl.13247>.
- BHATT, A. et al. Water stress inhibits germination while maintaining embryo viability of subtropical wetland seeds: A functional approach with phylogenetic contrasts. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 906771, 2022. DOI: <http://doi.org/10.3389/fpls.2022.906771>.
- BILLAH, M. et al. Progressive Genomic Approaches to Explore Drought-and Salt-Induced Oxidative Stress Responses in Plants under Changing Climate. *Plants*, v. 10, n. 9, p. 1910, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/plants10091910>.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.
- HASAN, M. et al. Comparison of the effects of two laser photobiomodulation techniques on biophysical properties of *Zea mays* L. seeds. *PeerJ*, v. 9, p. e10614, 2021. DOI: <http://doi.org/10.7717/peerj.10614>.
- HILLEL, D. Soil and water. **Physical principles and processes** New York: Academic Press, 1971. 288p.
- KANDASAMY, S. et al. Size variability in seed lot impact seed nutritional balance, seedling vigor, microbial composition and plant performance of common corn Hybrids. *Agronomy*, v. 10, n. 2, p. 157, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/agronomy10020157>.
- LUO, X. et al. The ABI4 RbohD/VTC2 regulatory module promotes Reactive Oxygen Species (ROS) accumulation to decrease seed germination under salinity stress. *New Phytologist*, v. 229, n. 2, p. 950-962, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1111/nph.16921>
- MA, L. et al. Alleviation of exogenous oligochitosan on wheat seedlings growth under salt stress. *Protoplasma*, v. 249, n. 2, p. 393-399, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00709-011-0290-5>
- MAHPARA, S. et al. The impact of PEG-induced drought stress on seed germination and seedling growth of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Plos one*, v. 17, n. 2, p. e0262937, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0262937>.
- MICHEL, B. E., & KAUFMANN, M. R. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiology*, v. 51, n. 914-916, 1973. DOI: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.51.5.914>

- NAVARRO-HELLÍN, H. et al. A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management. **Agricultural Water Management**, v. 151, p. 64-74, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.022>
- SAUX, M. et al. A multiscale approach reveals regulatory players of water stress responses in seeds during germination. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 5, p. 1300-1313, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1111/pce.13731>
- SOUZA, W. C. L. de et al. Aspectos comparativos entre milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): diferenças e semelhanças. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 4, p. 2337-2357, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i4-891>
- The World Bank. **Water in Agriculture**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>. Acesso: 28/07/2022, às 10:50 horas.
- ZHANG, S., XU, B., & GAN, Y. Seed treatment with *Trichoderma longibrachiatum* T6 promotes wheat seedling growth under NaCl stress through activating the enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense systems. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 15, p. 3729, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3390/ijms20153729>
- ZHOU, Z. et al. Assessment for crop water stress with infrared thermal imagery in precision agriculture: A review and future prospects for deep learning applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 182, p. 106019, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106019>
- WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant I: the field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, Cambridge, v. 49, p. 81-97, 1950. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>