

METODOLOGIA PARA INDUÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO DURANTE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE SOJA

Beatriz Fernandes de Seia Gonçalves¹, Martha Freire da Silva², Cleiton Renato Casagrande¹, Felipe Lopes da Silva¹

¹Universidade Federal de Viçosa – UFV, Departamento de Agronomia. Avenida Ph Rolfs s/n, CEP: 36870-900, Viçosa, MG. Email: beatriz.seia@gmail.com, cleiton_casagrande@hotmail.com, felipe.silva@ufv.br

²Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agrônômicas, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: marthafreire86@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo a proposição de uma metodologia para indução de déficit hídrico durante a germinação e crescimento inicial de plântulas de soja. Para isso, testou-se a vermiculita e o papel *germitest*, como substratos, e soluções de polietilenoglicol (PEG 6000), em diferentes concentrações. Foram utilizadas sementes das cultivares BMX Alvo RR, DM 5958 IPRO e BMX Elite IPRO e induzidos déficits hídricos nos potenciais - 0,2 e -0,4 MPa. Adicionalmente, foi utilizado o potencial 0 Mpa, controle, utilizando-se apenas água deionizada. Foi realizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3 (3 cultivares e 3 potenciais osmóticos). A análise de variância foi realizada, seguida do Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação de médias. O potencial de -0.4 MPa, induzido por PEG 6000, permite evidenciar diferenças de tolerância entre os genótipos, tanto no substrato vermiculita, quanto no papel *germitest*, apresentando potencial para ser utilizado na seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico na fase de germinação e estabelecimento de plântulas.

PALAVRAS-CHAVE: Polietileno glicol 6000, Vermiculita, Potencial osmótico

METHODOLOGY FOR INDUCING WATER DEFICIT DURING GERMINATION AND GROWTH OF SOYBEAN SEEDLINGS

ABSTRACT: This work aimed to propose a methodology for inducing water deficit during the germination and initial growth of soybean seedlings. For this, there were tested vermiculite and *germitest* as substrates, and polyethylene glycol solutions (PEG 6000), in different concentrations. Seeds from the cultivars BMX Alvo RR, DM 5958 IPRO and BMX Elite IPRO were used, and water deficits were induced at potentials - 0.2 and -0.4 MPa. In addition, it was used the potential 0 Mpa, control, where only deionized water was used. A completely randomized design was carried out, in a 3x3 factorial scheme (3 cultivars and 3 osmotic potentials). Analysis of variance was performed, followed by Tukey, at 5% probability, to compare means. The potential of -0.4 MPa, induced by PEG 6000, makes it possible to highlight differences in tolerance between genotypes, both in the vermiculite substrate and in the germitest paper, presenting the potential to be used in the selection of genotypes tolerant to water deficit in the germination and establishment phase of seedlings.

KEY WORDS: Polyethylene glycol 6000, Vermiculite, Osmotic potential

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das commodities mais importantes para o agronegócio mundial. O Brasil é o maior produtor e exportador, cultivando cerca de 44 milhões de hectares, com produção média de 154 milhões de toneladas (Conab, 2023). Houve um aumento de 23,2% na produção, na safra 2022/2023, em relação ao ano anterior, sendo notória a crescente expansão e a importância da cultura para o país.

No entanto, embora haja uma produção expressiva, muitos são os desafios enfrentando pelos produtores para a produção de soja. Dentre eles, o déficit hídrico é um dos fatores mais preocupantes (Scheelbeek et al., 2018), sobretudo na era atual.

Atualmente, devido a crescente emissão de gases poluentes na atmosfera e a intensa degradação do meio ambiente, estamos vivenciando a era da ebulição global, que é uma fase de aumento acelerado das temperaturas da terra, tendo como consequência frequentes eventos de inundações e estiagem (Chakravarty, 2023). Isso gera estresse hídrico e promove disfunção ao metabolismo das plantas.

As plantas são constituídas por 90% de água, sendo ela imprescindível para todas as funções biológicas do metabolismo celular. Para o cultivo da soja são necessários cerca de 450 a 800 mm de água durante o ciclo (Farias et al., 2021).

A água desempenha a função de solvente, atua na mobilização de nutrientes, manutenção da temperatura interna, fotossíntese, crescimento e desenvolvimento da planta. A falta dela durante a fase de germinação pode levar a falhas no estande e desuniformidade na emergência, além de redução do vigor das sementes, suscitando em aumento do custo de produção, por ocasião do replantio, e/ou perda na produtividade (Bewley et al., 2013). O déficit na fase de floração e enchimento de grãos também são críticos e podem ocasionar perdas irreparáveis (Scheelbeek et al., 2018).

Dentro deste contexto são grandes os esforços por parte das empresas de melhoramento, para o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao déficit hídrico. No entanto, fazer a seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico, não é tarefa fácil. Quando se induz o déficit a nível de campo, pode-se incorrer em chuvas não esperadas e a indução ao estresse não ser realizada para promover uma seleção acurada. Desta forma, tem sido propostas metodologias alternativas, para serem executadas em casa de vegetação ou em condição de laboratório, com a utilização de polietilenoglicol 6000 simulando o déficit hídrico (Machado Neto et al., 2006).

O polietilenoglicol (PEG) é uma substância inerte, de alto peso molecular, a qual não possui capacidade de penetrar e causar toxidez nas células. Esta substância atua como agente osmótico, reduzindo o potencial hídrico do meio e impedindo a entrada de água nas células. O

PEG 6000 é um dos agentes osmóticos mais utilizado na indução de déficit hídrico em experimentos científicos (Hasegawa et al., 1984). A metodologia mais utilizada, adota papel *germitest* umedecido com concentrações variadas de PEG 6000, induzindo diferentes potenciais osmóticos (Villela, 1991) durante a fase de germinação. Entretanto, os estudos que relacionam o déficit hídrico induzido por PEG na cultura da soja, ainda são escassos.

Assim, este trabalho teve por objetivo a proposição de uma metodologia para indução de déficit hídrico durante a germinação e crescimento inicial de plântulas de soja. Para isso, testou-se além do papel *germitest* (metodologia tradicional), a vermiculita como substrato. Foram testadas soluções de polietilenoglicol (PEG 6000), em diferentes concentrações e avaliada a eficácia dos métodos e dos potenciais osmóticos para seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado Laboratório de Genética de soja do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil. Foram utilizadas sementes de soja das cultivares BMX ALVO RR, DM 5958 IPRO e BMX ELITE PRO.

As sementes das 3 cultivares foram submetidas ao déficit hídrico induzido por soluções osmóticas de polietilenoglicol (PEG 6000), nos potenciais: zero (controle), -0,2 MPa e -0,4 MPa. Para a indução dos potenciais -0,2 MPa e -0,4 MPa, foram utilizadas 119,571 g L⁻¹ e 178,343 g L⁻¹ de PEG 6000, conforme proposto por Villela (1991). Para o controle, foi utilizado somente água deionizada, induzindo o potencial 0 MPa.

Utilizou-se duas metodologias: uma foi nomeada de metodologia padrão - onde utilizou-se o papel *germitest*, e outra, metodologia proposta, testando-se a vermiculita como substrato na indução do déficit hídrico.

Metodologia Padrão – Papel *germitest*

Essa metodologia consistiu em semear em papel *germitest*, 4 repetições de 50 sementes por cultivar, umedecidos com água deionizada, no tratamento controle, e com as soluções de PEG 6000, as quais induziram os potenciais osmóticos de -0.2 e -0.4 MPa. Os papéis foram umedecidos na proporção de 3 vezes o peso do papel (Brasil, 2009).

A semeadura foi realizada, utilizando-se 3 folhas de papel *germitest*, sendo confeccionados rolos e acondicionados em incubadora BOD (Biochemical Oxygen Demand), com temperatura constante de 25°C, onde permaneceram por um período de 8 dias (Figura 1).

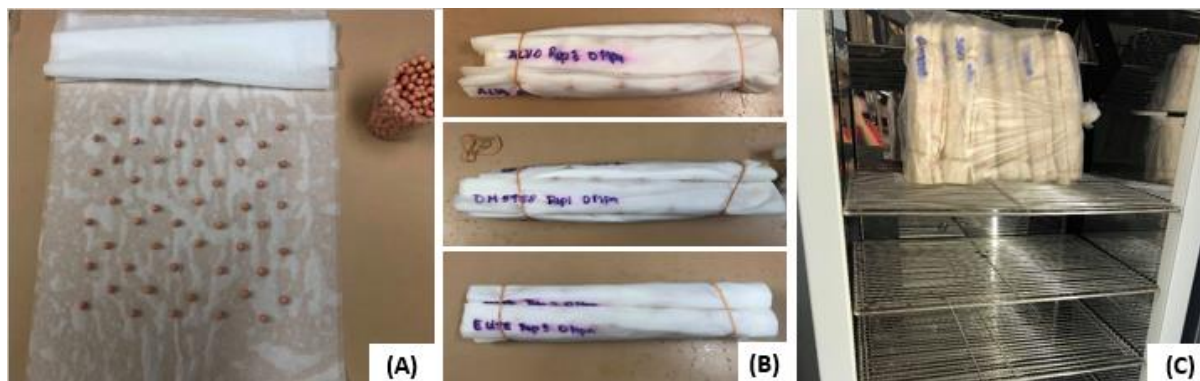


Figura 1. Metodologia padrão para indução de déficit hídrico em sementes de soja. A) Os papeis *germitest* foram umedecidos com a solução de PEG 6000 e as sementes semeadas entre três folhas de papel. B) Foram confeccionados rolos de germinação. C) Rolos de germinação contendo as sementes foram acondicionados em câmara tipo BOD, a 25°C, sendo mantidos por 8 dias.

Por meio das avaliações das contagens diárias de sementes germinadas e da porcentagem de plântulas normais, foram avaliados o índice de velocidade de germinação (IVG) (Maguire, 1962), a primeira contagem de germinação (PC) (Krzyzanowski et al., 2020) e a germinação (GERM) (Brasil, 2009).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3 (3 cultivares e 3 potenciais osmóticos).

Metodologia Proposta – Vermiculita como substrato para indução de déficit hídrico durante a germinação e estabelecimento de plântulas de soja

Na metodologia proposta, foram empregadas as mesmas cultivares de soja e soluções osmóticas das utilizadas no teste com metodologia padrão. Entretanto, ao invés de testá-las com o papel *germitest*, foi empregado a vermiculita, como substrato.

Copos descartáveis de 0,3 dm³ foram preenchidos com o substrato vermiculita, totalizando 200 gramas do substrato por copo. Cada copo foi semeado com 4 sementes e cada tratamento teve 5 repetições. Os copos foram umedecidos com as respectivas soluções osmóticas, com quantidade de solução correspondente para manter 60% da capacidade de campo do substrato. Cada copo foi vedado com sacos plásticos transparentes para manter um sistema fechado, evitando a perda da solução por evaporação. Os copos foram aleatoriamente dispostos sob bandejas, levados a BOD, na qual permaneceram por 8 dias, sob temperatura de 25°C. Durante este período foram realizadas as contagens diárias das plântulas emergidas e ao final do 8º dia (Figura 2).



Figura 2. Metodologia proposta, utilizando-se vermiculita como substrato. A) Foi padronizada a quantidade de vermiculita utilizada por copo. B) Os copos contendo vermiculita foram umedecidos com a solução de PEG 6000 e as sementes de soja foram semeadas. C) Os copos contendo a vermiculita umedecida e as sementes foram colocados em câmara de germinação tipo BOD a 25°C durante 8 dias.

Foram realizadas as avaliações de porcentagem de germinação (Brasil, 2009), comprimento de raiz e de parte aérea (Krzyzanowski et al., 2020), massa fresca e seca de raiz e parte aérea (Krzyzanowski et al., 2020), comprimento do somatório das raízes, diâmetro e área das raízes. Para a avaliação de comprimento total (cm), projeção da área (cm²), área superficial (cm²), volume (m³) e diâmetro médio (mm) das raízes, foi utilizado o scanner de mesa EPSON EU88, com resolução de 400 dpi, e o software WinRHIZOPro 2009 (Basic, Reg, Pro e Arabidopsis for Root Measurement). As raízes foram dispostas em uma bandeja de dimensões 25 cm × 40 cm x 7 cm (largura x comprimento x 15 altura), contendo água destilada suficiente para cobrir as raízes, minimizando-se sobreposições. As raízes foram digitalizadas e as informações da imagem processadas pelo WinRHIZOPro 2009, seguido do scanner de mesa EPSON EU88, com resolução de 400 dpi, e o software WinRHIZOPro 2009 (Basic, Reg, Pro e Arabidopsis for Root Measurement).

Além disso, foi calculado o índice de velocidade de emergência (Maguire, 1962) e mensurado o teor de água das plântulas através do cálculo da diferença entre a massa seca e fresca, conforme:

$$TA = ((MF - MS)/MF) \times 100 \text{ onde:}$$

TA= Teor de água (%);

MF= Massa fresca (g);

MS= Massa seca (g).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x3 (3 cultivares e 3 potenciais osmóticos), com 5 repetições por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste Tukey

à 5 % de probabilidade. Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do Programa estatístico Sisvar®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise estatística, na metodologia padrão, a qual se utilizou o papel *germitest*, houve interação significativa genótipo x potencial para todas as variáveis avaliadas (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo das análises de variância para as características germinação, primeira contagem (PC) e índice de velocidade de germinação (IVG) referentes à avaliação da metodologia padrão (papel *germitest*).

FV	QUADRADO MÉDIO			
	GL	GERMINAÇÃO (%)	PC (%)	IVG
Genótipo (G)	2	80,3333*	85,7778 ^{ns}	5,4677*
Potencial (P)	2	903,0000*	3174,7778*	227,6690*
G x P	4	30,3333*	189,6111*	5,3058*
Resíduo	27	10,1852	33,4815	0,2557
Total	35			
Média		80,1111	84,8333	13,332
CV (%)		7,22	3,76	4,10

*Significativo a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Coeficiente de variação ambiental geral (CV).

Para a germinação, observou-se que no controle (0,0 MPa), não houve diferença significativa entre a porcentagem de germinação das cultivares ALVO e DM 5958, as quais foram superiores à cultivar ELITE (Tabela 2-A). Este resultado mostra que o lote de sementes da cultivar ELITE apresentava qualidade inicial pior que o lote das demais cultivares.

No potencial - 0,2 MPa, a cultivar DM 5958 apresentou maior germinação, não diferindo da ALVO, enquanto a cultivar ELITE apresentou germinação inferior. No potencial -0,4 MPa, as cultivares não diferiram entre si (Tabela 2-A).

Não houve diferença significativa entre a germinação obtida no potencial 0,0 MPa (controle) e a obtida no potencial -0,2 MPa (déficit hídrico brando), para todas as cultivares. Já no potencial -0,4 MPa, o qual induziu um déficit hídrico mais drástico, houve redução da porcentagem de germinação em todas as cultivares, em relação ao potencial 0,0 MPa (controle) (Tabela 2-B),

Tabela 2. Análises dos desdobramentos da interação genótipo x potencial pelo teste Tukey à 5% de probabilidade referentes à avaliação da metodologia padrão (papel germitest).

A)				B)			
Potenciais				Genótipos			
Genótipos	0	- 0,2	- 0,4	Potenciais	Alvo	DM 5958	Elite
Germinação (%)				Germinação (%)			
Alvo	92,00 a	89,00 ab	74,00 a	0,0 MPa	92,00 a	93,00 a	86,00 a
DM 5958	93,00 a	94,00 a	75,00 a	- 0,2 MPa	89,00 a	94,00 a	85,00 a
Elite	86,00 b	85,00 b	75,50 a	- 0,4 MPa	74,00 b	75,00 b	75,50 b
p valor	0,0090	0,0019	0,7968	p valor	0,0000	0,0000	0,0001
PC (%)				PC (%)			
Alvo	90,50 a	89,00 a	52,50 b	0,0 MPa	90,50 a	93,00 a	86,00 a
DM 5958	93,00 a	94,00 a	61,00 ab	- 0,2 MPa	89,00 a	94,00 a	84,50 a
Elite	86,00 a	84,50 a	70,50 a	- 0,4 MPa	52,50 b	61,00 b	70,50 b
p valor	0,2404	0,0855	0,0007	p valor	0,0000	0,0000	0,0012
IVG (%)				IVG (%)			
Alvo	16,34 a	13,53 a	6,47 b	0,0 MPa	16,34 a	16,18 a	16,23 a
DM 5958	16,18 a	14,65 b	6,56 b	- 0,2 MPa	13,53 b	12,34 b	13,15 b
Elite	16,23 a	13,15 ab	9,90 a	- 0,4 MPa	6,47 c	6,56 c	9,90 c
p valor	0,8920	0,0606	0,0000	p valor	0,0000	0,0000	0,0000

A) Desdobramento de genótipo dentro de cada nível de potencial. B) Desdobramento de potencial dentro de cada nível de genótipo.

Analisando os percentuais de queda na porcentagem de germinação dentro de cada cultivar quando induzido o déficit hídrico, do potencial 0,0 MPa (controle) para o -0,4 MPa, a cultivar ELITE foi a que apresentou menor queda, caindo 10,5%, enquanto DM 5958 e ALVO cairam 18%. Visto que a cultivar ELITE apresentava o pior dos lotes dentre das cultivares (evidenciado no potencial 0,0 MPa) e em decorrer dessa menor queda, nota-se que a cultivar ELITE se sobressaiu melhor que as demais, quando imposto o déficit hídrico mais severo, sugerindo-se uma maior tolerância, se comparada com as outras cultivares.

Para a variável primeira contagem (PC), as cultivares não diferiram no controle e no potencial -0,2 MPa. No potencial -0,4 MPa, a cultivar ELITE foi superior, não diferindo da DM 5958, e a ALVO foi inferior (Tabela 2-A). O controle e o potencial -0,2 MPa (déficit hídrico brando) não diferiram entre si, tendo o mesmo efeito para todas cultivares. Já o potencial -0,4 MPa, que simula o déficit mais drástico, ocasionou queda em todas as cultivares (Tabela 2-B).

A primeira contagem computa as porcentagens de plântulas normais verificadas na data da primeira contagem de germinação (Burriss et al., 1969), sendo para soja, as plântulas normais no analisadas no quinto dia após a sementeira. Presume-se que quanto maior a porcentagem de germinação nesta data, maior é o vigor das sementes e melhor é a qualidade que elas apresentam (Marcos-Filho, 2015). Em situações de déficit hídrico, uma maior porcentagem de germinação nesta data, indica que, mesmo com a restrição de água, as sementes conseguiram captar água suficiente para germinar e se desenvolver em uma plântula normal em um período relativamente curto, o qual pode ser um indicativo de tolerância ao estresse. Assim, como ELITE apresentou a maior porcentagem de germinação na data da primeira contagem, no déficit mais drástico (Tabela 2-A), nota-se a sua superioridade em relação as demais.

Para o índice de velocidade de germinação (IVG), o qual demonstra a velocidade com que ocorre a protrusão da radícula, não houve diferença de desempenho das cultivares no controle. No potencial -0,2 MPa, a cultivar ALVO foi superior, não diferindo da ELITE, e a DM 5958 foi inferior. No potencial -0,4 MPa ELITE foi superior, e ALVO e DM 5958 não diferiram entre si (Tabela 2-A). A medida que o déficit hídrico foi sendo mais severo, o IVG das cultivares foi reduzindo (Tabela 2-B), sendo o potencial -0,4 MPa o mais drástico para todas as cultivares (Tabela 2-B). Custódio et al. (2009), encontraram resultados semelhantes na cultura do feijoeiro. Marcos-Filho (2015) cita que a velocidade de germinação esta intimamente associada a quantidade de água disponível para a semente. Quanto mais negativo o potencial hídrico do meio a qual a semente se encontra, maior é a dificuldade que ela encontra para captar água e maior é o tempo que ela leva para emitir a radícula e conseqüentemente germinar.

Na metodologia proposta, a qual utilizou-se a vermiculita como substrato, a análise estatística demonstrou que a interação genótipo x potencial não foi significativa para todas as variáveis avaliadas, não sendo realizado, portanto, o desdobramento de genótipo dentro de cada potencial, e potencial dentro de cada genótipo (Tabela 3).

Analisando as fontes de variação genótipo e potencial de forma separada, foram significativas as variáveis germinação (GERM.), índice de velocidade de germinação (IVG), massa seca de parte aérea (MSPA), teor de água das plântulas (TAPL) e comprimento da parte aérea (CPA) tanto para o efeito de genótipo, quanto para dos potenciais. Para a fonte de variação potencial, além das variáveis anteriormente citadas, comprimento de raízes (CR) e diâmetro de raízes (DR) também foram significativas (Tabela 3).

Tabela 3. Quadrado médio para germinação (GERM.), índice de velocidade de germinação (IVG), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSRA), massa seca de plântula (MSPL), teor de água de plântula (TAPL), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz principal (CRA), comprimento de raízes (CR), projeção da área de raízes (PAR), diâmetro de raízes (DR) e volume de raízes (VR), referentes à metodologia proposta (substrato vermiculita) quando analisados os fatores genótipo e potenciais osmóticos.

FV	QUADRADO MÉDIO							
	GL	GERM.	IVG	MSPA	MSRA	MSPL	TAPL	CPA
Genótipo (G)	2	847,2222*	0,0754*	0,0007*	0,0002 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	13,7867*	28,2648*
Potencial (P)	2	3847,2222*	0,0000*	0,0017*	0,0003 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	570,8107*	1054,6194*
G x P	4	618,0556 ^{ns}	0,0472 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	11,0704 ^{ns}	6,1641 ^{ns}
Resíduo	36	243,0556	0,0212	0,0006	0,0004	0,0013	9,2644	8,1187
Total	44							
Média		85,5556	0,8358	0,1145	0,0138	0,1282	86,262	13,3373
CV (%)		18,22	17,39	21,13	43,94	27,72	3,53	21,36

FV	QUADRADO MÉDIO					
	GL	CRA	CR	PAR	DR	VR
Genótipo (G)	2	19,4782 ^{ns}	17631,7855 ^{ns}	16,9364 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	0,0086 ^{ns}
Potencial (P)	2	7,4553 ^{ns}	30174,8948*	23,9719 ^{ns}	0,0118*	0,0137 ^{ns}
G x P	4	3,8425 ^{ns}	10021,7652 ^{ns}	10,3817 ^{ns}	0,0036 ^{ns}	0,0072 ^{ns}
Resíduo	36	7,1087	7366,0419	9,6806	0,0027	0,0092
Total	44					
Média		11,6883	188,5374	8,1817	0,1394	0,2827
CV (%)		22,81	45,52	38,03	37,42	34,02

*Significativo a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Coeficiente de variação ambiental geral (CV%).

De acordo com a tabela 4 para a fonte de variação genótipo, para as variáveis GERM. e IVG, a cultivar ALVO foi superior, não diferindo significativamente da ELITE, e a DM5958 foi inferior à ambas.

Para as variáveis MSPA e TAPL não houve diferença entre as cultivares. Para CPA, a cultivar ELITE foi superior, não diferindo da ALVO, e a DM 5958 inferior à ambas.

Para a fonte de variação potencial, em relação a variável GERM., observou-se que a porcentagem de germinação foi semelhante no controle e no potencial -0,2 MPa, sendo menor apenas no potencial -0,4 MPa. A medida que os níveis de potencial osmótico do meio se tornar mais negativos, a semente tem mais dificuldade de absorver água e pode acarretar na redução na porcentagem de germinação (Marcos-Filho, 2015). Este resultado está em encontro com os resultados obtidos por Braccini et al. (1996) e com os resultados da metodologia padrão (Tabela 2-A).

Tabela 4. Germinação (GERM.), índice de velocidade de germinação (IVG), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSRA), massa seca de plântula (MSPL), teor de água de plântula (TAPL), comprimento de raiz principal (CRA), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raízes (CR), projeção da área de raízes (PAR), diâmetro de raízes (DR) e volume de raízes (VR), após a aplicação de diferentes potenciais osmóticos induzidos por PEG 6000, quando aplicado no substrato vermiculita (metodologia proposta).

Genótipos	GERM	IVG	MSPA	MSPA	MSPL	TAPL
Alvo	93,3333 a	0,9118 a	0,1227 a	0,0124 a	0,1347 a	85,3722 a
DM 5958	78,3333 b	0,7715 b	0,1110 a	0,0179 a	0,1289 a	86,1367 a
Elite	85,0000 ab	0,8241 ab	0,1099 a	0,0110 a	0,1209 a	87,2774 a
Potenciais	GERM	IVG	MSPA	MSPA	MSPL	TAPL
0,0 MPa	100,0000 a	1,4077 a	0,1089 a	0,0133 a	0,1221 a	91,9295 a
-0,2 MPa	88,3333 a	0,7019 b	0,1080 a	0,0183 a	0,1261 a	87,1653 b
-0,4 MPa	68,3333 b	0,3977 c	0,1267 a	0,0098 a	0,1363 a	79,6915 c
Genótipos	CRA	CPA	CR	PAR	DR	VR
Alvo	12,9922 a	13,6499 ab	167,4493 a	7,4397 a	0,1235 a	0,2667 a
DM 5958	11,1893 a	11,8352 b	228,0973 a	9,3989 a	0,1407 a	0,3091 a
Elite	10,8833 a	14,5267 a	170,0655 a	7,7064 a	0,1540 a	0,2762 a
Potenciais	CRA	CPA	CR	PAR	DR	VR
0,0 MPa	11,1003 a	22,2667 a	162,7726 b	7,7996 a	0,1198 a	0,2945 a
-0,2 MPa	11,4947 a	12,1141 b	162,5123 b	7,1526 a	0,1269 a	0,2483 a
-0,4 MPa	12,4699 a	5,6310 c	240,3273 a	9,5928 a	0,1715 a	0,3052 a

*** Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para IVG, CPA e TAPL, à medida que o déficit hídrico foi sendo induzido, os valores dessas variáveis foram diminuindo, sendo o potencial -0,4 MPa o mais drástico.

O decréscimo do IVG à medida que o déficit foi sendo induzido decorre da redução do potencial hídrico, suscitado pela aplicação do polietileno glicol 6000. O PEG 6000, simula eficientemente o déficit hídrico por ser uma substância inerte, de alto peso molecular, o qual tem afinidade por água e atua reduzindo o potencial osmótico do meio, sem, contudo, ser absorvido pela semente (Yoon et al., 1997). Com isso, a captação da água pela semente é dificultada, promovendo assim a redução da atividade enzimática e menor desenvolvimento meristemático (Ávila et al., 2007), gerando uma menor velocidade de protrusão de radícula.

Reduções no comprimento de plântula (parte aérea e raiz) em resposta à indução de estresse hídrico foram observados por vários autores. Moraes e Menezes (2003) constataram que o comprimento das plântulas de soja reduziu à medida que os potenciais osmóticos induzidos pelo PEG 6000 decresceram, sendo o mesmo observado para a variável CPA. Essa redução de comprimento é resultado da queda do potencial hídrico da célula, e a consequente

redução da pressão de turgor, afetando assim negativamente o crescimento celular das plântulas (Jaleel et al. 2009).

A medida que os potenciais osmóticos foram sendo reduzidos e conseqüentemente, o déficit hídrico imposto, a absorção de água pelas sementes foi tornando-se dificultada. Logo, a disponibilidade de água para as plântulas passou a ser menor, o que pode ser observado com a redução da TAPL.

Para as variáveis MSPA e DR não houve diferença entre os potenciais. Para CR, o potencial -0,4 MPa foi superior, não tendo diferença entre o controle e o potencial -0,2 MPa. A continuidade do crescimento das raízes sob condições de déficit hídrico, é dependente da manutenção de uma pressão de turgor mínima nas células, sendo esta suficiente para permitir o alongamento da parede celulósica e o crescimento celular (Hsiao e Xu, 2000). Desta forma, quando o potencial de água é reduzido nos solos, conseqüentemente nas raízes, verifica-se em inúmeras espécies um rápido ajuste osmótico, auxiliando o restabelecimento da pressão de turgor e permitindo a manutenção do alongamento celular. Tal situação foi observada, sendo no potencial mais drástico que o comprimento das raízes mostrou-se superior, permitindo assim que a planta consiga captar a água necessária para o seu desenvolvimento em regiões mais afastadas. Em contraste, o ajuste osmótico nas folhas ocorre mais lentamente, levando à diminuição ou à parada da extensão das paredes celulares e ao menor crescimento da parte aérea (Hsiao e Xu, 2000), o que foi também observado no potencial -0,4 MPa.

Analisando conjuntamente os dados, observa-se que em comum às duas metodologias, pôde-se observar que o IVG diminuiu com o decréscimo do potencial osmótico, para todas as cultivares, em ambas as metodologias. Também foi observado que para a maioria das variáveis avaliadas, tanto no papel *germitest* quanto na vermiculita (Tabela 2-A e Tabela 4), o potencial -0,2 MPa não diferiu do controle, evidenciando que este potencial não foi considerado estressante o suficiente para nenhuma das cultivares analisadas. Sendo sugerido, portanto, que o potencial -0,4 MPa seja utilizado para indução de déficit hídrico na germinação e estabelecimento de plântulas.

Embora o papel *germitest* embebido com PEG 6000 seja até o momento, a metodologia mais utilizada na indução do déficit hídrico na germinação, o desenvolvimento das plântulas em papel é bastante prejudicado. O substrato vermiculita permite um melhor desenvolvimento radicular dos genótipos, podendo avaliar o efeito do déficit hídrico nos parâmetros das raízes, de forma mais detalhada, com observado neste trabalho. Além disso, foi possível comprovar que o potencial de -0,4 MPa foi o mais indicado para verificar diferenças de tolerância ao déficit hídrico entre genótipos de soja.

CONCLUSÃO

O potencial de -0.4 MPa, induzido por PEG 6000, permite evidenciar diferenças de tolerância entre os genótipos, tanto no substrato vermiculita, quanto no papel germitest, apresentando potencial para ser utilizado na seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico na fase de germinação e estabelecimento de plântulas.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, M. R., BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; FAGLIARI, J.R.; SANTOS, J.L. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 98-106, 2007.

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. 392p.

BRASIL. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA, 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 395 p. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf

BRACCINI, A. L.; RUIZ, H. A.; BRACCINI, M. C. L.; REIS, M. S. Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. **Brasília: Revista Brasileira de Sementes**, v.18, p.10- 16. 1996.

BURRIS, J. S.; EDJE, O. T., WAHAB, A. H. **Evaluation of various indices of seed and seedling vigour in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts, v.59, p.73-81, 1969.

CHAKRAVARTY, P. **Climate Communication Channels, AI, and Indigenous Wisdom: A Triad approach for adaptation in the era of global boiling**. 2023. 7p. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Poulomi-Chakravarty-3/publication/373895266_Climate_Communication_Channels_AI_and_Indigenous_Wisdom_A_Triad_Approach_for_Adaptation_in_the_Era_of_Global_Boiling/links/6501db29a2e39316ce083d5d/Climate-Communication-Channels-AI-and-Indigenous-Wisdom-A-Triad-Approach-for-Adaptation-in-the-Era-of-Global-Boiling.pdf> . Acesso em 01 out 2023.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2023. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Safra 2022/23, 12º Levantamento**. Brasília, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 110 p. URL: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>

CUSTÓDIO, C.C.; Salomão, G. R.; NETO, N.B.B. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de feijão submetidas à diferentes soluções osmóticas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 04, p. 617-623, 2009. URL: <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83976/228128>

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N. NEPOMUCENO, A. L. **Água**. 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/exigencias-climaticas/agua>>. Acesso em 01 out 2023.

HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; HANDA, S.; HANDA, A.K. **Celular mechanisms of tolerance to water stress**. **HortScience**, v. 19, p. 371-377, 1984.

HSIAO, T. C.; XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p.1595-1616, 2000.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H.J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture Biology**, v. 11, p. 100-105, 2009.

KRZYZANOWSKI, F.C., VIEIRA, R.D.; MARCOS-FILHO, J., FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceito e testes**, 2 ed. ABRATES: Londrina, 601p.

MACHADO NETO, N. B.; CUSTODIO, C.C.; COSTA, P.R.; DONÁ, F.L. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, p. 142-148, 2006.

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

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015a. 659p.

MORAIS, G.A.F.; MENEZES, N.L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, v. 33, p. 219-226, 2003.

SCHEELBEEK, P.F.; BIRD, F.A.; TUOMISTO, H.L.; GREEN, R.; HARRIS, F.B.; JOY, E.J.M.; CHALABI, Z.; ALLEMN, E.; HAINES, A.; DANGOUR, A.D. Effect of environmental changes on vegetable and legume yields and nutritional quality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 1, p. 6804–6809, 2018.

VILLELA, F.A. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1957- 1968, 1991

YOON, Y.; LANG, H.J.; COBB, B.G. Priming with salt solutions improves germination of pansy seed at high temperatures. **HortScience**, v. 32, p. 248-250, 1997.