



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



SIMULAÇÃO DE SEMEADURA NO PÓ: EFEITOS DE DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E TEMPERATURAS NA EMERGÊNCIA DE SEMENTES DE MILHO

Leandro Antonio Lima Carvalho¹ e Thiago Alberto Ortiz²

Universidade Paranaense – UNIPAR, Campus I - Sede. Praça Mascarenhas de Moraes, 4282, Zona III - Umuarama, PR. E-mail: leandro.carvalho@edu.unipar.br¹; thiago.ortiz@prof.unipar.br²

RESUMO: A cultura do milho (*Zea mays* L.) está entre as mais importantes no cenário mundial, tornando essencial compreender como a qualidade das sementes, provenientes de diferentes materiais genéticos, se manifesta sob variadas condições ambientais. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de distintos regimes hídricos e temperaturas na emergência de sementes de milho de diferentes genótipos. O experimento foi conduzido na Universidade Paranaense (UNIPAR), campus Umuarama-PR, utilizando dois híbridos de milho (AG 1051 e DKB 360 PRO3). Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, com três períodos de restrição hídrica (5, 11 e 15 dias) e três temperaturas (30, 35 e 40 °C), além de uma testemunha mantida a 25 °C em capacidade de campo, com quatro repetições. Foram avaliadas variáveis relacionadas à emergência, como porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME), além de comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR). Também foram analisados parâmetros bioquímicos e fisiológicos: índices de balanço de nitrogênio (NBI), clorofilas (CHL), flavonoides (FLAV) e antocianinas (ANTH), rendimento quântico efetivo do fotossistema II (PSII) (Y), rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), potencial fotoquímico (Fv/Fo), coeficiente de extinção fotoquímica (qP), coeficiente de extinção não fotoquímica (qN), parâmetro de extinção não fotoquímica (NPQ) e rendimento quântico de energia não dissipada (Y[NO]). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e, para cada variável avaliada, as médias dos tratamentos foram comparadas à respectiva testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$), utilizando o software R. O híbrido AG 1051 apresentou maior sensibilidade à restrição hídrica e às variações de temperatura em comparação ao DKB 360 PRO3. As variáveis relacionadas ao processo de emergência demonstraram maior resposta a esses fatores do que os parâmetros bioquímicos e fisiológicos. Os resultados evidenciam que tanto a restrição hídrica quanto o aumento da temperatura na fase inicial da cultura comprometem o vigor das sementes, retardando a emergência e resultando em plântulas fisiologicamente menos eficientes. A combinação de altas temperaturas (40 °C) com períodos prolongados de déficit hídrico (11 e 15 dias) reduziu significativamente o stand de plântulas, com taxas de emergência inferiores a 80%. Essa condição pode exigir intervenções corretivas, como a ressemeadura, acarretando maiores custos e atraso no ciclo produtivo.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*, condições climáticas, déficit hídrico, germinação, qualidade fisiológica de sementes.

SIMULATED DRY SOIL SOWING: EFFECTS OF DIFFERENT WATER REGIMES AND TEMPERATURES ON MAIZE SEED EMERGENCE

ABSTRACT: Maize (*Zea mays* L.) is among the most important crops worldwide, making it essential to understand how seed quality from different genetic materials is expressed under



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



varying environmental conditions. This study aimed to evaluate the effects of distinct water regimes and temperatures on the emergence of maize seeds from different genotypes. The experiment was conducted at the Universidade Paranaense (UNIPAR), Umuarama campus, Paraná State, Brazil, using two maize hybrids (AG 1051 and DKB 360 PRO3). A completely randomized design was adopted in a $3 \times 3 + 1$ factorial arrangement, comprising three periods of water restriction (5, 11, and 15 days) and three temperatures (30, 35, and 40 °C), plus a control treatment maintained at 25 °C and field capacity, with four replications. Emergence-related variables were assessed, including emergence percentage (EP), emergence speed index (ESI), and mean emergence time (MET), as well as shoot length (SL), root length (RL), shoot dry mass (SDM), and root dry mass (RDM). In addition, biochemical and physiological parameters were analyzed: nitrogen balance index (NBI), chlorophyll index (CHL), flavonoid index (FLAV), anthocyanin index (ANTH), effective quantum yield of photosystem II (PSII) (Y), maximum quantum yield of PSII (Fv/Fm), photochemical potential (Fv/Fo), photochemical quenching coefficient (qP), non-photochemical quenching coefficient (qN), non-photochemical quenching parameter (NPQ), and quantum yield of non-dissipated energy (Y[NO]). Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA), and for each variable, treatment means were compared with the corresponding control by Dunnett's test ($p < 0.05$) using R software. The AG 1051 hybrid showed greater sensitivity to water restriction and temperature variation compared with DKB 360 PRO3. Variables related to the emergence process were more responsive to these factors than the biochemical and physiological parameters. The results demonstrate that both water restriction and increased temperature during the early growth stage impair seed vigor, delaying emergence and resulting in physiologically less efficient seedlings. The combination of high temperatures (40 °C) and prolonged periods of water deficit (11 and 15 days) significantly reduced seedling stand, with emergence rates below 80%. Under such conditions, corrective interventions, such as reseeded, may be required, leading to increased costs and delays in the production cycle.

KEYWORDS: *Zea mays*, climatic conditions, water deficit, germination, physiological seed quality.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) ocupa posição de destaque na agricultura mundial, sendo uma das principais fontes de alimento para humanos e animais. O aumento populacional e a consequente demanda por produtos agrícolas têm intensificado a necessidade de estratégias que promovam maior produtividade e sustentabilidade no cultivo dessa espécie (Crispin et al., 2025).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2025), a safra 2024/2025 apresenta estimativa de expansão de 3,8% na área cultivada, com elevação de 16,5% na produtividade (6.391 kg ha^{-1}) e incremento de 20,9% na produção total, atingindo aproximadamente 139,7 milhões de toneladas. Esses avanços refletem a combinação de condições climáticas favoráveis, o uso de sementes de alta qualidade e a adoção de práticas agrícolas modernas, como manejo eficiente de fertilizantes e controle de pragas.

A produtividade do milho, contudo, depende fortemente da qualidade fisiológica das



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



sementes, a qual é influenciada por fatores ambientais, como solo, temperatura e, sobretudo, disponibilidade de água. Esses fatores afetam diretamente a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas, etapas críticas para o sucesso da cultura. A disponibilidade hídrica, em especial, exerce papel determinante: em regiões onde a umidade do solo não é adequadamente manejada, a escassez de água pode comprometer tanto o desenvolvimento inicial das plantas quanto a produtividade final (Khaledi et al., 2025).

O estresse por déficit hídrico figura entre os principais desafios para o cultivo do milho, uma vez que interfere em processos fisiológicos e bioquímicos essenciais das plantas. Essa limitação reduz a absorção de nutrientes e a atividade microbiana do solo, comprometendo o equilíbrio do ecossistema agrícola. Em regiões áridas e semiáridas, a falta de água restringe o metabolismo microbiano e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes para as plantas, resultando em menor crescimento e produtividade (Shamohammadi et al., 2024).

A importância da água no desenvolvimento vegetal é amplamente reconhecida. Rezende et al. (2003) ressaltam que a deficiência hídrica durante a semeadura pode atrasar a germinação, aumentar a suscetibilidade das sementes a patógenos e reduzir o estande inicial. Embora algumas culturas, como a soja, possam tolerar períodos curtos de seca — até 14 dias — sem prejuízo à produtividade, períodos prolongados, como 21 dias, resultam em perdas significativas (22,2% – 572 kg ha⁻¹). Tais observações reforçam que o manejo da umidade do solo é fator decisivo para o estabelecimento inicial das culturas.

Considerando que nem sempre a semeadura ocorre na janela ideal, compreender como a disponibilidade hídrica e a temperatura influenciam a germinação e a emergência das plântulas torna-se essencial. Além disso, diferentes genótipos podem apresentar respostas distintas a essas condições, o que destaca a importância de identificar materiais genéticos mais tolerantes ao estresse hídrico e térmico (Nezafat et al., 2025).

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes regimes hídricos e temperaturas sobre a emergência de sementes de milho de distintos genótipos, buscando gerar informações que contribuam para o manejo eficiente e sustentável da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Paranaense (UNIPAR), campus Umuarama-PR, com o objetivo de simular a *semeadura no pó*, caracterizada pela ausência de umidade disponível no solo no momento da semeadura, avaliando os efeitos de diferentes regimes



de restrição hídrica e temperaturas sobre a emergência, o crescimento inicial e os parâmetros bioquímicos e fisiológicos de sementes de milho.

Foram utilizados dois híbridos comerciais de milho: AG 1051 e DKB 360 PRO3. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial $3 \times 3 + 1$, sendo três períodos de restrição hídrica (5, 11 e 15 dias) e três níveis de temperatura (30, 35 e 40 °C), além de uma testemunha mantida a 25 °C e em capacidade de campo, totalizando quatro repetições por tratamento.

Arranjo experimental

As unidades experimentais consistiram em caixas de poliestireno cristal (Gerbox® — dimensões: 11,5 × 11,5 × 3,5 cm), preenchidas com 400 g de solo arenoso proveniente da camada superficial (0–10 cm). O solo foi previamente seco em estufa a 65 °C por 48 horas para padronização, garantindo condições uniformes de início do experimento.

Cada caixa foi semeada com 25 sementes, dispostas em cinco linhas, a uma profundidade aproximada de 1 cm. Durante o período de restrição hídrica definido para cada tratamento, o solo foi mantido sem adição de água. Ao final do período estipulado, as unidades experimentais foram irrigadas até a capacidade de campo, com reposição diária de água, controlada com o auxílio de balança de precisão. Em seguida, as caixas foram transferidas para uma sala climatizada, mantida a aproximadamente 28 °C, até o término das avaliações.

Variáveis avaliadas

As avaliações foram realizadas diariamente por 20 dias, período em que se observou a estabilização da emergência das plântulas. As variáveis determinadas incluíram:

- **Porcentagem de emergência (PE):** definida como a proporção de plântulas com coleóptilo emergido ≥ 1 mm, expressa em porcentagem (%);
- **Índice de velocidade de emergência (IVE):** calculado conforme Maguire (1962), considerando o número de plântulas emergidas ao longo do tempo;
- **Tempo médio de emergência (TME):** obtido segundo Lima et al. (2006), expresso em dias;
- **Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR):** medidos ao final do período experimental, expressos em centímetros (cm plântula⁻¹);
- **Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR):** obtidas após secagem em estufa a 70 °C até peso constante, expressas em gramas (g plântula⁻¹).



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



Além disso, 25 dias após a semeadura, foram avaliados parâmetros bioquímicos e fisiológicos relacionados à atividade fisiológica e fotossintética das plantas, incluindo:

- **Índices de balanço de nitrogênio (NBI), clorofilas (CHL), flavonoides (FLAV) e antocianinas (ANTH):** determinados em folhas expandidas no terço médio da segunda folha mais externa de cada plântula, utilizando o equipamento DUALEX SCIENTIFIC+™ (Force-A, Paris, França);
- **Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (PSII) (Y);**
- **Rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm);**
- **Potencial fotoquímico (Fv/Fo);**
- **Coefficiente de extinção fotoquímica (qP);**
- **Coefficiente de extinção não fotoquímica (qN);**
- **Parâmetro de extinção não fotoquímica (NPQ);**
- **Rendimento quântico de energia não dissipada (Y[NO]),** todos medidos com fluorômetro portátil OS-30p+ (Opti-Sciences, Hudson, TX, EUA).

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos. Para cada variável avaliada, as médias dos tratamentos foram comparadas à respectiva testemunha pelo teste de Dunnett, considerando nível de significância de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R versão 4.5.1 (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que os fatores restrição hídrica e temperatura influenciaram significativamente a emergência, o crescimento inicial e a atividade fotossintética de plântulas de milho dos híbridos AG 1051 e DKB 360 PRO3, em comparação à testemunha mantida na capacidade de campo e a 25 °C (Tabela 1).



Tabela 1 – Análise de variância das variáveis de crescimento inicial e dos parâmetros fisiológicos de plântulas de milho sob diferentes regimes de restrição hídrica e temperaturas.

AG 1051					
FV	PE	IVE	TME	CPA	CR
RH	0,00000*	0,00000*	0,00000*	4×10 ⁻⁵ *	0,00052*
T	0,00000*	0,00000*	1×10 ⁻⁵ *	0,06748 ^{NS}	0,00000*
RH × T	0,00000*	0,00753*	0,00144*	0,65948 ^{NS}	0,00503*
CV (%)	5,85	8,04	2,27	6,04	9,13
FV	MSPA	MSR	NBI	CHL	FLAV
RH	0,68118 ^{NS}	0,73397 ^{NS}	0,00000*	0,01353*	0,11929 ^{NS}
T	0,10897 ^{NS}	0,00021*	0,06883 ^{NS}	0,70264 ^{NS}	0,18671 ^{NS}
RH × T	0,92390 ^{NS}	0,01009*	0,13114 ^{NS}	0,73020 ^{NS}	0,10723 ^{NS}
CV (%)	13,86	13,98	15,32	22,41	24,21
FV	ANTH	Y	Fv/Fm	Fv/Fo	qP
RH	0,16328 ^{NS}	0,00122*	0,00043 ^{NS}	0,00000*	0,00021*
T	0,27866 ^{NS}	0,61833 ^{NS}	0,26153 ^{NS}	0,19682 ^{NS}	0,02412 ^{NS}
RH × T	0,19007 ^{NS}	0,12160 ^{NS}	0,80608 ^{NS}	0,61405 ^{NS}	0,38158 ^{NS}
CV (%)	16,19	3,32	2,61	7,41	12,23
FV	qN	NPQ	Y(NO)		
RH	0,45245 ^{NS}	0,94832 ^{NS}	0,00000*		
T	0,87799 ^{NS}	0,79778 ^{NS}	0,37392 ^{NS}		
RH × T	0,97239 ^{NS}	0,96886 ^{NS}	0,68765 ^{NS}		
CV (%)	9,85	29,26	1,92		
DKB 360 PRO3					
FV	PE	IVE	TME	CPA	CR
RH	0,00000*	0,00000*	0,00000*	0,00023*	0,22168 ^{NS}
T	0,00000*	0,01907*	0,28354 ^{NS}	0,09764 ^{NS}	0,00295 ^{NS}
RH × T	0,00146*	0,64194 ^{NS}	0,97675 ^{NS}	0,36478 ^{NS}	0,49645 ^{NS}
CV (%)	6,43	25,32	6,52	8,92	17,40
FV	MSPA	MSR	NBI	CHL	FLAV
RH	0,97849 ^{NS}	0,00215*	0,07287 ^{NS}	0,79922 ^{NS}	0,09357 ^{NS}
T	0,64529 ^{NS}	0,21975 ^{NS}	0,41798 ^{NS}	0,57193 ^{NS}	0,37816 ^{NS}
RH × T	0,94421 ^{NS}	0,18517 ^{NS}	0,48985 ^{NS}	0,29589 ^{NS}	0,42885 ^{NS}
CV (%)	17,72	21,20	24,62	20,83	22,73
FV	ANTH	Y	Fv/Fm	Fv/Fo	qP
RH	0,31393 ^{NS}	0,73122 ^{NS}	0,59647 ^{NS}	0,22720 ^{NS}	0,00068*
T	0,54063 ^{NS}	0,23295 ^{NS}	0,93822 ^{NS}	0,57572 ^{NS}	0,08038 ^{NS}
RH × T	0,46735 ^{NS}	0,18472 ^{NS}	0,32144 ^{NS}	0,02983*	0,27356 ^{NS}
CV (%)	17,43	4,95	2,33	8,64	10,73
FV	qN	NPQ	Y(NO)		
RH	0,14570 ^{NS}	0,11343 ^{NS}	0,21064 ^{NS}		
T	0,43337 ^{NS}	0,59199 ^{NS}	0,53475 ^{NS}		
RH × T	0,51443 ^{NS}	0,87056 ^{NS}	0,02171*		
CV (%)	8,50	25,32	2,11		

^{NS} Não-significativo, * Significativo $p < 0,05$.

FV – fonte de variação; PE – porcentagem de emergência; IVE – índice de velocidade de emergência; TME – tempo médio de emergência; CPA – comprimento da parte aérea; CR – comprimento da raiz; MSPA – massa seca da parte aérea; MSR – massa seca da raiz; NBI – índice de balanço de nitrogênio; CHL – índice de clorofilas; FLAV – índice de flavonoides; ANTH – índice de antocianinas; Y – rendimento quântico efetivo do PSII; Fv/Fm – rendimento quântico máximo do PSII; Fv/Fo – potencial fotoquímico; qP – coeficiente de extinção fotoquímica; qN – coeficiente de extinção não fotoquímica; NPQ – parâmetro de extinção não fotoquímica; Y(NO) – rendimento quântico de energia não dissipada.



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



Os híbridos de milho apresentaram comportamentos distintos quanto à sensibilidade à restrição hídrica e à variação de temperatura; contudo, em ambos, o processo de emergência e os parâmetros bioquímicos e fisiológicos foram prejudicados.

No híbrido AG 1051, o comprimento da parte aérea (CPA) apresentou redução significativa sob restrição hídrica de 5 e 15 dias. Entre os parâmetros fisiológicos avaliados, observaram-se reduções em rendimento quântico efetivo do PSII (Y) aos 5 dias de restrição, em índice de balanço de nitrogênio (NBI) e coeficiente de extinção fotoquímica (qP) após 11 dias, e em índice de clorofilas (CHL) e rendimento quântico de energia não dissipada (Y[NO]) após 11 e 15 dias de estresse. No entanto, observou-se aumento no potencial fotoquímico (Fv/Fo) após 11 e 15 dias de restrição hídrica, indicando maior capacidade do PSII em converter a luz absorvida em energia fotoquímica, essencial para o processo fotossintético. Esse resultado reforça a importância de uma avaliação integrada de múltiplas variáveis, evidenciando que, de modo geral, a restrição hídrica não representa uma condição compensatória para o desenvolvimento de plântulas de milho (Tabela 2).

No híbrido DKB 360 PRO3, observou-se aumento no CPA em todos os períodos de restrição hídrica, demonstrando que os dois híbridos avaliados apresentaram comportamentos distintos sob estresse hídrico, o que reforça a importância da avaliação individual de cada material genético. O índice de velocidade de emergência (IVE) reduziu, enquanto o tempo médio de emergência (TME) aumentou significativamente após 11 e 15 dias de estresse, indicando atraso no processo de emergência. Essa condição foi acompanhada por redução no qP, evidenciando menor eficiência fotoquímica e diminuição no número de centros de reação do PSII ativos. Além disso, a massa seca da raiz (MSR) apresentou incremento após 11 dias de restrição hídrica, sugerindo uma possível adaptação morfofisiológica das plântulas para maior exploração do substrato em busca de água (Tabela 2).



Tabela 2 – Variáveis de crescimento inicial e parâmetros fisiológicos de plântulas de milho dos híbridos AG 1051 e DKB 360 PRO3, oriundas de sementes submetidas a diferentes regimes de restrição hídrica e temperaturas, em comparação às respectivas testemunhas (capacidade de campo e 25 °C).

AG 1051				
Restrição hídrica	CPA	NBI	CHL	Y
Testemunha	29,20	57,25	17,40	0,7500
5 dias	25,32*	53,53	13,95	0,6953*
11 dias	28,87	37,94*	10,38*	0,7183
15 dias	26,65*	58,47	13,18*	0,7354
Restrição hídrica	Fv/Fo	qP	Y(NO)	
Testemunha	3,20	0,4521	0,7608	
5 dias	3,00	0,4696	0,7485	
11 dias	3,63*	0,3728*	0,7839*	
15 dias	3,70*	0,4003	0,7869*	
DKB 360 PRO3				
Restrição hídrica	IVE	TME	CPA	MSR
Testemunha	3,16	8,80	20,26	0,0346
5 dias	2,64	9,13	30,91*	0,0384
11 dias	1,47*	14,99*	30,35*	0,0536*
15 dias	1,19*	19,85*	26,42*	0,0480
Restrição hídrica	qP	Temperatura		IVE
Testemunha	0,4666	Testemunha		3,16
5 dias	0,4468	30 °C		2,05*
11 dias	0,4025*	35 °C		1,78*
15 dias	0,3688*	40 °C		1,46*

*Médias que apresentam diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que a germinação depende diretamente da disponibilidade de água. O processo tem início com a embebição da semente, ou seja, a reidratação dos tecidos, que estimula o aumento da atividade respiratória do embrião e a ativação de enzimas essenciais à mobilização de reservas. A interrupção ou limitação desse suprimento hídrico compromete a hidratação celular e a atividade metabólica, atrasando o processo de germinação-emergência, resultando em atraso no estabelecimento das plântulas (Vieira e Carvalho, 2023).

O aumento da temperatura também se mostrou prejudicial ao desenvolvimento inicial das plântulas de milho. No híbrido DKB 360 PRO3, temperaturas superiores a 25 °C reduziram o IVE, confirmando a diminuição na velocidade do processo de germinação-emergência (Tabela 2). Resultados semelhantes foram relatados por Khaeim et al. (2022), que também observaram influência significativa da temperatura sobre a duração da germinação e o desenvolvimento das plântulas.



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



No presente estudo, a combinação de temperatura elevada (40 °C) e períodos prolongados de restrição hídrica (11 e 15 dias) reduziu significativamente a emergência das plântulas, passando de 98% na testemunha para 81% e 39% no híbrido AG 1051 (Tabela 3), e de 96% para 75% e 59% no DKB 360 PRO3 (Tabela 4). Esses resultados evidenciam um efeito sinérgico entre o estresse térmico e o déficit hídrico, comprometendo o processo de germinação-emergência, o crescimento inicial e a eficiência fisiológica das plântulas, sobretudo no híbrido AG 1051, que demonstrou maior sensibilidade às condições extremas de estresse. Resultados semelhantes aos observados por Rezende et al. (2003) em soja confirmam que o período de restrição hídrica exerce influência determinante sobre a emergência e o estande das plântulas. No estudo desses autores, sementes submetidas a 21 dias de seca apresentaram queda acentuada na emergência e no estande final, enquanto períodos de até 14 dias ainda permitiram a manutenção dentro dos padrões recomendados de densidade. No presente estudo, entretanto, reduções expressivas já foram observadas a partir de 11 dias de restrição, indicando que a duração do estresse e as condições térmicas associadas podem antecipar os efeitos deletérios, variando conforme a espécie e o material genético avaliado.

O IVE também diferiu da testemunha em todas as combinações para AG 1051, indicando maior lentidão no processo de emergência, o que pode aumentar a susceptibilidade das plântulas a fatores bióticos e abióticos em condições de campo. Tal comportamento é confirmado pelo TME, que passou de 6,52 dias na testemunha para mais de 20 dias sob 40 °C e 15 dias de restrição hídrica, demonstrando que o aumento simultâneo da temperatura e do período de restrição intensifica o atraso na emergência (Tabela 3).

Para o comprimento da raiz (CR), apenas a combinação de 40 °C e 15 dias diferiu da testemunha em AG 1051, e para a MSR, as reduções ocorreram a 30 °C e 15 dias, evidenciando que maiores períodos de déficit hídrico acentuam as perdas no desenvolvimento inicial (Tabela 3).



Tabela 3 – Variáveis de crescimento inicial e parâmetros fisiológicos de plântulas de milho do híbrido AG 1051, oriundas de sementes submetidas a diferentes regimes de restrição hídrica e temperaturas, em comparação à testemunha na capacidade de campo e a 25 °C.

AG 1051 — PE (Testemunha = 98,00)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	100,00	100,00	100,00
35 °C	99,00	98,00	96,00
40 °C	92,00	81,00*	39,00*

AG 1051 — IVE (Testemunha = 3,92)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	2,81*	1,63*	1,32*
35 °C	2,81*	1,66*	1,26*
40 °C	2,49*	1,33*	0,48*

AG 1051 — TME (Testemunha = 6,52)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	8,90*	15,34*	19,03*
35 °C	8,84*	14,79*	19,13*
40 °C	9,32*	15,27*	20,38*

AG 1051 — CR (Testemunha = 25,87)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	29,15	26,79	28,56
35 °C	29,04	27,07	26,54
40 °C	26,02	22,34	16,48*

AG 1051 — MSR (Testemunha = 0,0625)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	0,0650	0,0750	0,0825*
35 °C	0,0600	0,0600	0,0600
40 °C	0,0650	0,0625	0,0475

*Médias que apresentam diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

No híbrido DKB 360 PRO3, verificou-se redução no potencial fotoquímico (Fv/Fo) e no Y(NO) sob temperatura de 30 °C e restrição hídrica por 5 dias, indicando menor eficiência do PSII na conversão da energia luminosa em energia química durante a fotossíntese, com maior dissipação de energia na forma de calor (Tabela 4).



Tabela 4 – Variáveis de crescimento inicial e parâmetros fisiológicos de plântulas de milho do híbrido DKB 360 PRO3, oriundas de sementes submetidas a diferentes regimes de restrição hídrica e temperaturas, em comparação à testemunha na capacidade de campo e a 25 °C.

DKB 360 PRO3 — PE (Testemunha = 96,00)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	100,00	97,00	95,00
35 °C	97,00	90,00	86,00
40 °C	90,00	75,00*	59,00*

DKB 360 PRO3 — Fv/Fo (Testemunha = 3,49)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	2,84*	3,46	3,51
35 °C	3,48	3,19	3,35
40 °C	3,37	3,36	3,46

DKB 360 PRO3 — Y(NO) (Testemunha = 0,7770)			
Temperatura	Restrição hídrica		
	5 dias	11 dias	15 dias
30 °C	0,7389*	0,7753	0,7774
35 °C	0,7767	0,7605	0,7694
40 °C	0,7706	0,7676	0,7753

*Médias que apresentam diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Esses resultados indicam que a elevação da temperatura também afeta negativamente o processo de germinação-emergência e a atividade fotossintética, evidenciando a sensibilidade dos híbridos ao estresse térmico. A germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas são processos altamente dependentes tanto da disponibilidade hídrica quanto da temperatura ambiental, uma vez que esta regula a velocidade de embebição, etapa inicial da germinação, e influencia diretamente a uniformidade e a percentagem de emergência. Dentro de limites fisiológicos, temperaturas mais elevadas podem acelerar a embebição devido ao aumento da energia cinética das moléculas de água e da atividade metabólica da semente; entretanto, quando ultrapassam o ótimo térmico, passam a desestabilizar membranas, inibir enzimas e reduzir a eficiência metabólica (Vieira e Carvalho, 2023).

Como a temperatura está intimamente associada à difusão da água e à atividade enzimática envolvida nas reações bioquímicas iniciais da germinação, torna-se essencial avaliar o comportamento de diferentes materiais genéticos sob distintas condições ambientais. No caso do milho, verificou-se que temperaturas acima de 25 °C reduzem a efetividade do processo de germinação-emergência e, quando combinadas à restrição hídrica, intensificam esse efeito.

Os resultados deste estudo demonstram que a interação entre estresse térmico e déficit



hídrico compromete de forma significativa a germinação-emergência, o crescimento inicial e a eficiência fisiológica das plântulas de milho, especialmente sob condições extremas de temperatura e restrição hídrica. Essa resposta é coerente com o observado em outras espécies sob ambientes áridos. Segundo Lewandowski et al. (2021), o aumento da temperatura favorece a perda de viabilidade das sementes e eleva a mortalidade entre os estágios de semente e plântula, evidenciando que essa transição é altamente vulnerável às restrições microclimáticas. Assim, os resultados do presente estudo reforçam que o sucesso do estabelecimento inicial das culturas está diretamente condicionado à disponibilidade hídrica e à adequação térmica do ambiente — fatores que se tornam ainda mais relevantes diante das projeções de aquecimento global e da intensificação de períodos de seca.

CONCLUSÃO

A restrição hídrica e o aumento da temperatura na fase inicial da cultura do milho comprometem a expressão do vigor das sementes, resultando em atraso no processo germinativo e na formação de plântulas fisiologicamente menos eficientes. A combinação de temperaturas elevadas (40 °C) e períodos prolongados de déficit hídrico (11 e 15 dias) reduziu significativamente o stand de plântulas, com valores inferiores a 80% de emergência, o que pode exigir intervenções corretivas, como a ressemeadura, para garantir o estabelecimento adequado da cultura em campo, acarretando maiores custos e atraso no ciclo produtivo.

REFERÊNCIAS

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro 2025.

CRISPIN, E. F.; SARTORI, T. dos S.; ALENCAR, J. R. D. C. C. de. Interação entre manejo fitossanitário e genético da cultura do milho sobre o complexo de mollicutes e viroses. **Revista Foco**, v. 18, n. 8, e9553, 2025.

KHAEIM, H.; KENDE, Z.; BALLA, I.; GYURICZA, C.; ESER, A.; TARNAWA, Á. The effect of temperature and water stresses on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Sustainability**, v. 14, n. 7, 3887, 2022.

KHALEDI, F.; BALOUCHI, H.; DEHNAVI, M. M.; SALEHI, A. Enhancing maize yield, water use efficiency, and Zn content under drought stress by applying Zn-solubilizing bacteria. **Agricultural Water Management**, v. 308, 2025.



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

AGRONOMIA



LEWANDROWSKI, W.; STEVENS, J. C.; WEBBER, B. L.; DALZIELL, E. L.; TRUDGEN, M. S.; BATEMAN, A. M.; ERICKSON, T. E. Global change impacts on arid zone ecosystems: seedling establishment processes are threatened by temperature and water stress. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 12, p. 8071–8084, 2021.

LIMA, J. D.; ALMEIDA, C. C.; DANTAS, V. A. V.; SILVA, B. M. da S. e; MORAES, W. da S. Efeito da temperatura e do substrato na germinação de sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 513–518, 2006.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.

NEZAFAT, M. H.; NADERI, R.; TAGHVAEI, M.; EDALAT, M.; TAHMASEBI, A.; EGAN, T. P. Modeling germination dynamics and drought stress tolerance in sorghum genotypes: role of priming and hydrotime analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 56, n. 16, p. 2443–2458, 2025.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 09 out. 2025.

REZENDE, P. M. de; MACHADO, J. da C.; GRIS, C. F.; GOMES, L. L.; BOTREL, É. P. Efeito da semeadura a seco e tratamento de sementes na emergência, rendimento de grãos e outras características da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 76–83, 2003.

SHAMOHAMMADI, N.; ZARE, M.; ORDOKHANI, K.; AREF, F.; SHARAFZAEH, S. Grain corn yield under the influence of water deficit stress, biological and chemical fertilizers. **Iranian Journal of Field Crop Science**, v. 55, n. 1, p. 23–36, 2024.

VIEIRA, E. L.; CARVALHO, Z. S. de. Fisiologia de sementes: parte I – formação e germinação de sementes. **Boletim Científico Agrônomo do CCAAB/UFRB**, v. 1, e2259, 2023.