

AVALIAÇÃO PRECOCE DA SENSIBILIDADE AO ALUMÍNIO DE HÍBRIDOS DE MILHO EMPREGANDO TESTE DE GERMINAÇÃO

GUSTAVO DE FREITAS MAFORT¹, SAMUEL FERREIRA RIBEIRO², ARIANA ELISA RODRIGUES MARTELINE³, GLAUCIO LUCIANO ARAUJO⁴, WAGNER NUNES RODRIGUES⁵

¹Graduando em Agronomia, UNIFACIG, 2210274@sempre.unifacig.edu.br.

²Graduando em Agronomia, UNIFACIG, 2210064@sempre.unifacig.edu.br.

³Graduando em Agronomia, UNIFACIG, 2210488@sempre.unifacig.edu.br.

⁴Doutor em Engenharia Agrícola, UNIFACIG, agronomia@unifacig.edu.br.

⁵Doutor em Produção Vegetal, UNIFACIG, wagner.nunes@sempre.unifacig.edu.br.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar possíveis níveis de tolerância ou sensibilidade ao alumínio de diferentes híbridos de milho, considerando o efeito desse elemento sobre a germinação de suas sementes. Para tal, foi realizado um experimento envolvendo um teste de germinação de híbridos de milho e condições contrastantes para o alumínio. A germinação das sementes foi influenciada pelas condições de alumínio no meio e pela diferença genética entre os híbridos, demonstrando interação significativa entre esses fatores. Notou-se um efeito detrimental do alumínio sobre a germinação das sementes de milho. Apesar de alguns híbridos não apresentarem limitação na proporção de sementes germinadas, a presença de alumínio causou limitação do crescimento de radículas e coleótilos. Os híbridos P4285VYHR e ExtendaxRR2 se destacaram por emitirem radículas relativamente maiores do que os demais na presença de alumínio, enquanto AS1868PRO4, SS204EVIP3 e BM855PRO2 foram mais sensíveis ao alumínio.

Palavras-chave: Acidez; Crescimento; Tolerância; *Zea mays*.

EARLY EVALUATION OF ALUMINUM SENSITIVITY OF CORN HYBRIDS USING GERMINATION TEST

ABSTRACT

This study aimed to compare possible levels of tolerance or sensitivity to aluminum of different corn hybrids, considering the effect of this element on seed germination. For this purpose, an experiment was carried out involving a germination test of corn hybrids and contrasting conditions for aluminum. Seed germination was influenced by aluminum conditions in the environment and by the genetic difference between the hybrids, demonstrating a significant interaction between these factors. A detrimental effect of aluminum on corn seed germination was observed. Although some hybrids did not present a limitation in the proportion of germinated seeds, the presence of aluminum caused limitation in the growth of radicles and coleoptiles. The hybrids P4285VYHR and ExtendaxRR2 stood out for being able to develop their radicles even in the presence of aluminum, while AS1868PRO4, SS204EVIP3 and BM855PRO2 were more sensitive to aluminum.

Keywords: Acidity; Growth; Tolerance; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

O estudo da germinação de diferentes híbridos de milho (*Zea mays* L.) sob a influência do alumínio é de extrema importância para a agricultura, especialmente em regiões com solos ácidos, onde a toxidez por alumínio é um fator limitante para o crescimento das plantas (Souza; Miranda; Oliveira, 2007). A acidez do solo afeta a disponibilidade de nutrientes e a absorção de água pelas raízes, sendo a tolerância ao alumínio um fator crucial para o

desenvolvimento e produtividade do milho (Mazocatto *et al.*, 2002; Milane *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2022). As fontes indicam que a inibição do crescimento radicular é o sintoma mais evidente da toxidez por alumínio, afetando a capacidade da planta de absorver água e nutrientes, o que pode levar a perdas significativas na produção (Kochian *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2017; Taiz *et al.*, 2017).

A análise da germinação sob condições de concentrações conhecidas de alumínio permite a identificação de híbridos de milho mais tolerantes a esse elemento. Essa informação é valiosa para os programas de melhoramento genético, que buscam desenvolver cultivares mais adaptadas a solos ácidos e com maior potencial produtivo (Mazocatto *et al.*, 2002; Petrete *et al.*, 2007). Identificar híbridos tolerantes, por meio de testes de germinação, é essencial para selecionar materiais genéticos superiores e recomendar cultivares mais adequadas para as condições específicas de cada região (Milane *et al.*, 2014).

Além disso, a pesquisa sobre os mecanismos de tolerância ao alumínio em diferentes híbridos de milho pode levar ao desenvolvimento de estratégias mais eficientes para o manejo de solos ácidos. O estudo da expressão gênica, produção de ácidos orgânicos e outros mecanismos de detoxificação utilizados por híbridos tolerantes pode fornecer informações valiosas para a criação de novas variedades e para o desenvolvimento de práticas de manejo que minimizem os efeitos da toxidez por alumínio, contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola em áreas afetadas por este problema (Milane *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2017).

Novos híbridos de milho têm características específicas que os tornam adequados a diferentes condições de cultivo e objetivos de produção, associando maiores produtividades com outras características de interesse agrônomo. Dentre as diversas opções disponíveis atualmente, os sete híbridos usados nesse trabalho serão descritos brevemente a seguir.

O híbrido Agrocere AG 8701 PRO4 (AG8701PRO4) se caracteriza pela robustez em situações adversas e pela versatilidade em diversos tipos de solo característico de safrinha tropical, sendo moderadamente tolerante ao complexo de enfezamento e tolerante à ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*) (Agrocere, 2024a).

Agroeste AS 1868 PRO4 (AS1868PRO4) é reconhecido pela sua performance em altas densidades de plantio, além de apresentar boa tolerância a pragas, contribuindo para a maximização da produção, direcionado a silagem e de ciclo precoce. Esse híbrido apresenta tolerância à mancha de turcicum (*Exserohilum turcicum*), à cercosporiose (*Cercospora zeaemaydis*) e à podridão branca da espiga (*Stenocarpella maydis* ou *Diplodia maydis*) (Agrocere, 2024b).

O híbrido Biomatrix BM 855 PRO2 (BM855PRO2) combina proteção da raiz da planta contra o ataque da larva alfinete (*Diabrotica speciosa*), resistência a herbicidas (glifosato), tolerância a lepidópteros e alta produtividade, sendo ideal para cultivos em larga escala, seguro e produtivo para cultivo de verão e safrinha, com dupla aptidão (Biomatrix, 2024a).

Biomatrix Glyfos RR (ExtendaxRR2) é um híbrido de ciclo precoce, com aptidão para produção de silagem, se destacando pela sua tolerância a herbicidas (glifosato), o que proporciona vantagens para o manejo de plantas espontâneas (Biomatrix, 2024b).

Nidera NS 80 VIP3 (SS204E VIP3), com aptidão para produção de grãos, apresenta ciclo precoce e é valorizado pela sua qualidade e potencial produtivo, com eficiência na absorção de nutrientes e tolerância a nematoides (*Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Pratylenchus brachyurus*) (Nidera Sementes, 2024).

O híbrido Pioneer P40537PWU (P40537PWU) é notável pela resistência ao estresse hídrico e pela capacidade de gerar elevados índices produtivos, especialmente em altas densidades de plantio. Esse híbrido apresenta boa tolerância ao complexo de enfezamentos, tolerância à ferrugem-polissora (*P. polysora*) e à mancha de turcicum (*E. turcicum*). Esse híbrido apresenta ciclo precoce e tem como finalidade a produção de grãos (Pioneer, 2024a).

Por fim, o híbrido Pioneer P4285VYHR (P4285VYHR) se destaca pela sua tolerância a pragas e doenças e ao seu baixo fator de reprodução para nematoides (*P. brachyurus*). Esse híbrido apresenta alta produtividade em ambientes variados, ciclo precoce e dupla aptidão (Pioneer, 2024b).

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar possíveis níveis de tolerância ou sensibilidade ao alumínio de diferentes híbridos de milho, considerando o efeito desse elemento sobre a germinação de suas sementes.

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado através de uma pesquisa explicativa, com base em um experimento para coleta de dados e verificação das hipóteses. O experimento foi conduzido nos laboratórios de microscopia e de bioquímica do Centro Universitário UNIFACIG, *campus* Alfa Sul, no município de Manhuaçu-MG.

O experimento seguiu fatorial 7×2 , com sete híbridos de milho e duas condições contrastantes para o alumínio. O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, com seis repetições. Cada parcela experimental foi composta por uma amostra de 15 sementes de milho.

Foram selecionados oito híbridos de milho (Tabela 1), usando como critérios de escolha a sua disponibilidade local, as indicações de profissionais da região e as características de interesse agrônomo.

Tabela 1 – Lista de híbridos.

Híbrido*	Denominação ¹	Mantenedor ¹	Registro ¹
Agroceres AG 8701 PRO4	AG8701PRO4	MONSANTO DO BRASIL LTDA.	49951
Agroeste AS 1868 PRO4	AS1868PRO4	MONSANTO DO BRASIL LTDA.	48468
Biomatrix BM 855 PRO2	BM855PRO2	HELIX SEMENTES E BIOTECNOLOGIA LTDA.	35526
Biomatrix Glyphos RR	ExtendaxRR2	HELIX SEMENTES E BIOTECNOLOGIA LTDA.	36208
Nidera NS 80 VIP3	SS204E VIP3	SYNGENTA SEEDS LTDA.	44000
Pioneer P40537PWU	P40537PWU*	CORTEVA AGRISCIENCE DO BRASIL LTDA.	-
Pioneer P4285VYHR	P4285VYHR	CORTEVA AGRISCIENCE DO BRASIL LTDA.	37440

*Denominação comercial. ¹Fonte: Registro Nacional de Cultivares (MAPA, 2024).

Para o preparo das concentrações de alumínio foi realizada a diluição de cloreto de alumínio ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, de peso molecular 241,43 g/mol e pureza de 99%) em água destilada, as propriedades da solução resultante e da água destilada estão apresentadas na Tabela 2. Foi adotado o nível de $1,0 \text{ cmol/dm}^3$ de alumínio devido a este ser o limiar da faixa considerada alta de acordo com a interpretação de análises de solo segundo os manuais de recomendação de adubação e calagem dos Estados do Espírito Santo (Prezotti *et al.*, 2007) e Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999). Após o preparo da solução com alumínio, determinou-se o pH, com auxílio de um pHmetro (precisão de 0,01), a condutividade elétrica, com emprego de um condutivímetro (precisão de $1 \mu\text{S/cm}$), e o potencial osmótico, empregando a equação de Van't Hoff (Taiz *et al.*, 2017), para as condições de ausência ou presença de alumínio.

Tabela 2 – Parâmetros das soluções empregadas para gerar as condições de germinação contrastantes para o alumínio.

Parâmetros	Ausência de Al^{3+}	Presença de Al^{3+}
Concentração de Al^{3+} (cmol/dm^3)	0,00	1,00
pH	6,14	3,44
Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	0,00	7.878,00
Potencial osmótico da solução (MPa)	0,00	-0,30

Fonte: os autores.

As amostras de 15 sementes foram dispostas em recipientes transparentes que continham duas camadas de papel germitest. As mesmas foram umedecidas com a solução ou com água destilada de acordo com o tratamento, estabelecendo-se o mesmo volume em todos os recipientes. A determinação desse volume se deu a partir da quantidade máxima de água ou

solução necessária para a completa embebição do papel sem o acúmulo excessivo de água no recipiente.

As parcelas experimentais preparadas foram acondicionadas em câmara incubadora tipo B.O.D (*Bioquimical Oxygen Demand*) com fotoperíodo de 8 horas de luz (4 lâmpadas fluorescentes de 900 lumens) e temperatura controlada de 25°C. Para a manutenção da umidade nos recipientes, foi realizada a reposição com água destilada de acordo com a necessidade de cada recipiente.

O número de sementes germinadas em cada parcela experimental foi contado diariamente e a condução do trabalho se embasou nas indicações vigentes para avaliação da germinação de sementes de milho no Brasil (Brasil, 2009). Para padronização, considerou-se como germinada, a semente que apresentava desenvolvimento normal e radícula maior do que 2 mm.

As contagens de sementes germinadas em cada parcela experimental após quatro dias e ao final do período experimental foram empregadas para a determinação da porcentagem de germinação durante a primeira contagem (PGP) e durante a contagem final (PGF), que indicam as proporções de sementes que conseguiram germinar a partir do número inicial de sementes (Brasil, 2009).

O tempo médio de germinação (TMG) de cada parcela foi quantificado empregando os somatórios de números de sementes germinadas e número de dias em incubação (Laboriau; Valadares, 1976). As contagens diárias foram empregadas para estimar o índice de velocidade de germinação (IVG), considerando a soma do número de sementes germinadas diariamente em relação ao respectivo número de dias transcorridos (Maguire, 1962).

Após seis dias, foram amostradas pelo menos duas sementes germinadas de cada parcela para determinação do comprimento médio de radículas (CRA) e de coleóptilo (CCO). Foi mensurado o comprimento total entre a protusão da estrutura a partir da semente até o ápice da radícula ou do coleóptilo, com auxílio de um paquímetro digital (precisão de 0,1 mm).

Os dados foram sujeitos a análise de variância e, de acordo com a significância das fontes de variação e sua interação, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, para as condições contrastantes de alumínio, ou agrupadas pelo teste de Scott-Knott, para os híbridos. As análises estatísticas foram executadas considerando um nível de 5% de probabilidade como limite de significância, com auxílio do software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da Figura 1, é possível observar visualmente que a presença de alumínio exerceu influência na germinação das sementes, especialmente notável no crescimento da radícula e do coleóptilo, quando comparadas com as sementes germinadas sob ausência de alumínio. Também é possível observar que alguns híbridos (*e.g.*, AG1858PRO4, AS1868PRO4, ExtendaxRR2, P40537PWU) se destacaram em relação ao seu desenvolvimento germinativo.

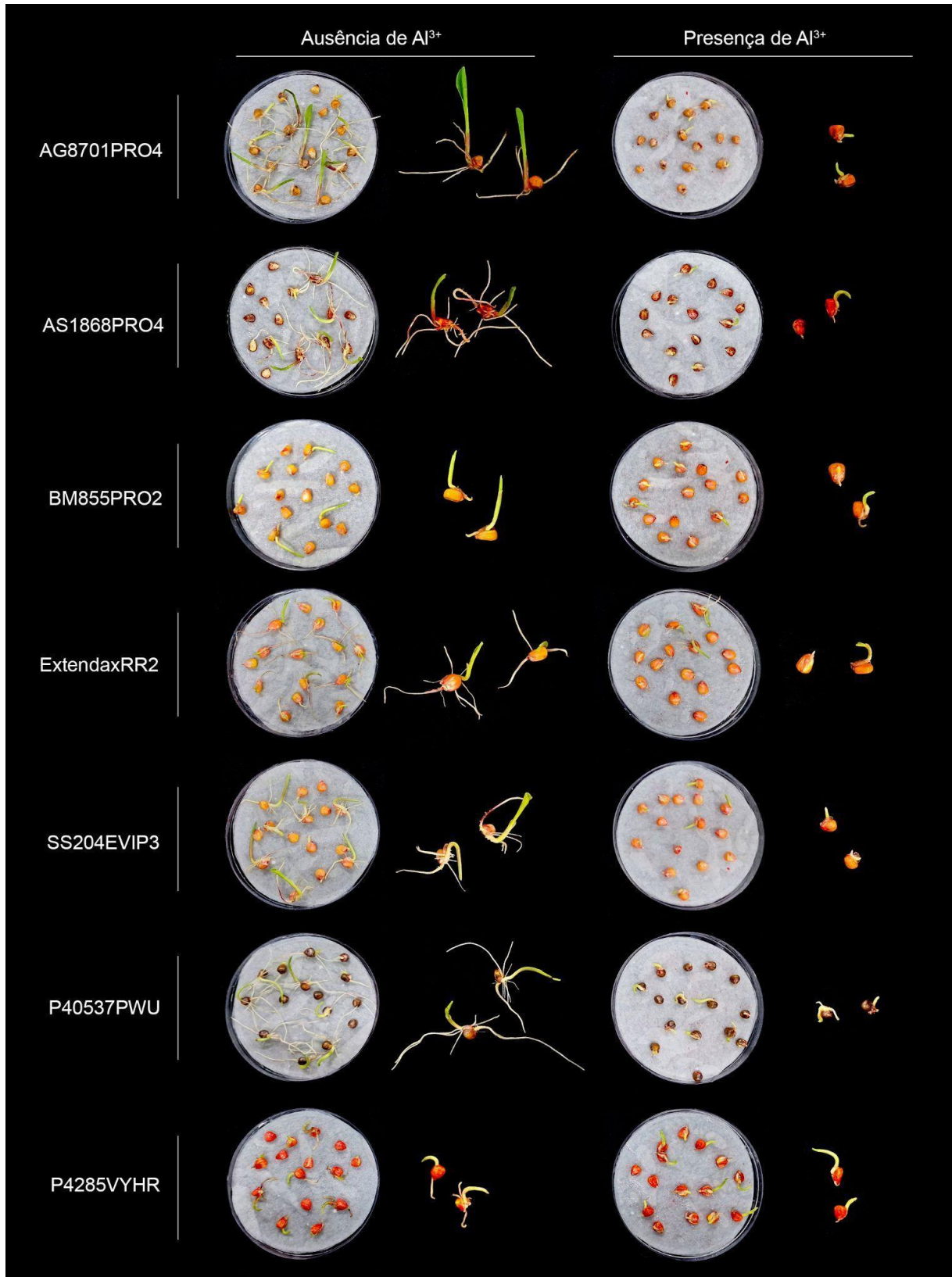


Figura 1 – Estado das sementes durante a contagem final após a germinação sob condições contrastantes para o alumínio. (Fonte: os autores)

Através da análise de variância para cada variável, identificou-se a existência de interação estatisticamente significativa entre as fontes de variação para todas as variáveis

estudadas (Tabela 3). Dessa forma, procedeu-se o desdobramento da interação para cada variável.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para oito parâmetros da germinação de sementes de híbridos de milho submetidos a condições contrastantes de alumínio.

Fonte de variação	PGP¹ (%)	PGF² (%)	TMG³ (dias)	IVG⁴ (unid./dia)	CRA⁵ (mm)	CRC⁶ (mm)
Híbridos	1.738,60*	1.651,87*	0,10*	38,62*	680,57*	444,16*
Alumínio	4.551,87*	2.459,06*	0,36*	99,06*	10.132,12*	5.327,31*
Interação	934,68*	736,48*	0,10*	14,84*	575,10*	437,30*
Média geral	36,71	64,95	4,76	6,95	18,07	20,20
CV ⁷ (%)	31,50	21,42	2,52	24,77	31,81	25,38

*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade; ¹Porcentagem de germinação na primeira contagem; ²Porcentagem de germinação na contagem final; ³Tempo médio de germinação; ⁴Índice de velocidade de germinação; ⁵Comprimento médio de radículas; ⁶Comprimento médio de coleóptilos; ⁷Coeficiente de variação. (Fonte: os autores)

Ao avaliar a porcentagem de germinação na primeira contagem (Figura 2A acima), observa-se que apenas houve influência negativa da presença de alumínio na germinação para os híbridos AS1868PRO4 (70%), ExtendaxRR2 (46%), SS204EVIP3 (52%) e AG8701PRO4 (34%); já para P4285VYRR houve uma pequena influência positiva (34%) na proporção inicial de germinação. Diferenças genéticas entre genótipos de milho podem causar diferentes respostas ao alumínio, ambos Mazzocato *et al.* (2002) e Petrete *et al.* (2007) descrevem que a variabilidade genética para *Z. mays* é suficiente para diferenciar grupos de genótipos sensíveis e grupos tolerantes ao alumínio.

Na condição de germinação sem alumínio, houve formação de apenas dois grupos de híbridos, onde AS1868PRO4, ExtendaxRR4, P40537PWU e P4285VYHR formaram o grupo de maior porcentagem de germinação na primeira contagem do que os demais híbridos (Figura 2A à esquerda). Sob condição de germinação com alumínio, formaram-se quatro grupos homogêneos, onde P4285VYHR apresentou isoladamente a maior proporção de germinação inicial, enquanto o grupo de menor porcentagem na primeira contagem foi formado pelos híbridos SS204EVIP3 e BM855PRO2 (Figura 2A à direita).

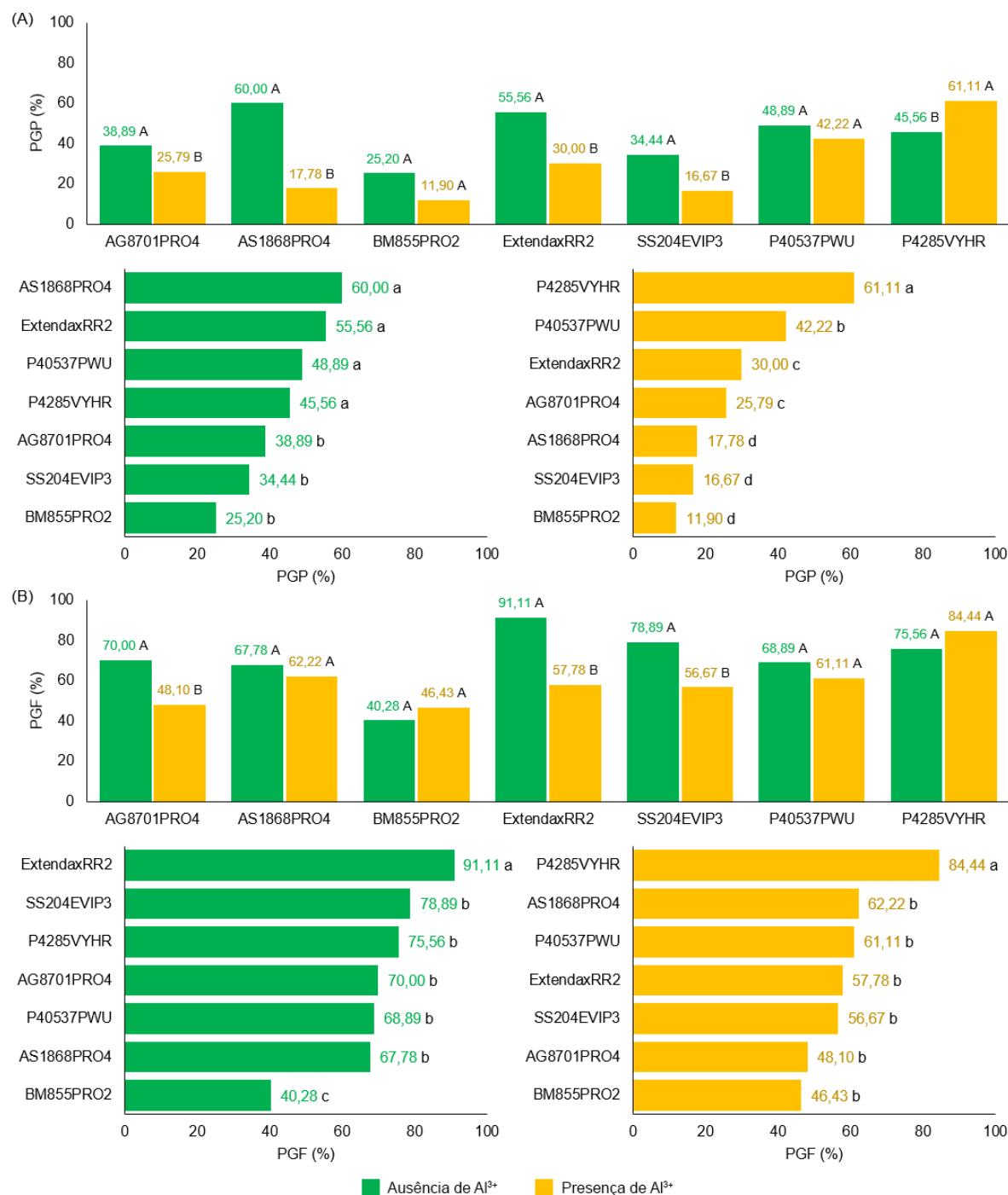


Figura 2 – Desdobramentos da interação (híbridos × alumínio) para porcentagem de germinação durante a primeira contagem (A) e contagem final (B) de sementes de milho de diferentes híbridos submetidos a germinação sob condições contrastantes de alumínio (médias seguidas pela mesma letra maiúscula, para cada híbrido, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; médias seguidas pela mesma letra minúscula, para cada condição de alumínio, não diferem estatisticamente entre si pelo critério de Scott-Knott; a 5% de probabilidade). (Fonte: os autores)

Na porcentagem de germinação considerando a contagem final (Figura 2B acima), percebe-se algumas alterações nos genótipos que sofreram influência significativa do alumínio, sendo observado apenas influência negativa desse elemento sobre os híbridos

AG8701PRO4, ExtendaxRR2 e SS204EVIP3. Esse fato demonstra que mesmo com a existência de uma influência inicial do alumínio sobre a porcentagem de germinação, essa influência não chegou a alterar a proporção final de sementes germinadas para a maioria dos híbridos. Esse resultado corrobora o exposto por Milane *et al.* (2014), cujo trabalho descreve que genótipos de milho podem apresentar sensibilidade a condições ácidas, mas que algumas cultivares não chegam a expressar prejuízos de germinação devido a presença de alumínio.

Nota-se ainda que na condição sem alumínio, destaca-se o híbrido ExtendaxRR2 por apresentar isoladamente a maior proporção de germinação (Figura 2B à esquerda). Examinado o desdobramento da interação para a condição com alumínio, o híbrido P4285VYHR forma sozinho o grupo com maior porcentagem de germinação final (Figura 2B à direita), mantendo elevada proporção de germinação nessa condição.

O tempo médio de germinação dos híbridos AG8701PRO4, ExtendaxRR2, P40537PWU e P4285VYHR apresentou médias similares em ambas as condições contrastantes para o alumínio, já os híbridos AS1868PRO4, BM855PRO2 e SS204EVIP3 demoraram mais para germinar com a presença de alumínio (Figura 3A acima). Dependendo da concentração, o alumínio pode prejudicar a divisão mitótica das células, desacelerando o processo germinativo de genótipos sensíveis a esse elemento (Milane *et al.*, 2014).

Observou-se que todos os híbridos portaram tempos médios de germinação semelhantes sob condições de ausência de alumínio (Figura 3A à esquerda). Na presença de alumínio, houve diferenciação de dois grupos de híbridos, sendo BM855PRO2, SS204EVIP3 e AS1868PRO4 os que exibiram germinação mais lenta do que os demais (Figura 3A à direita).

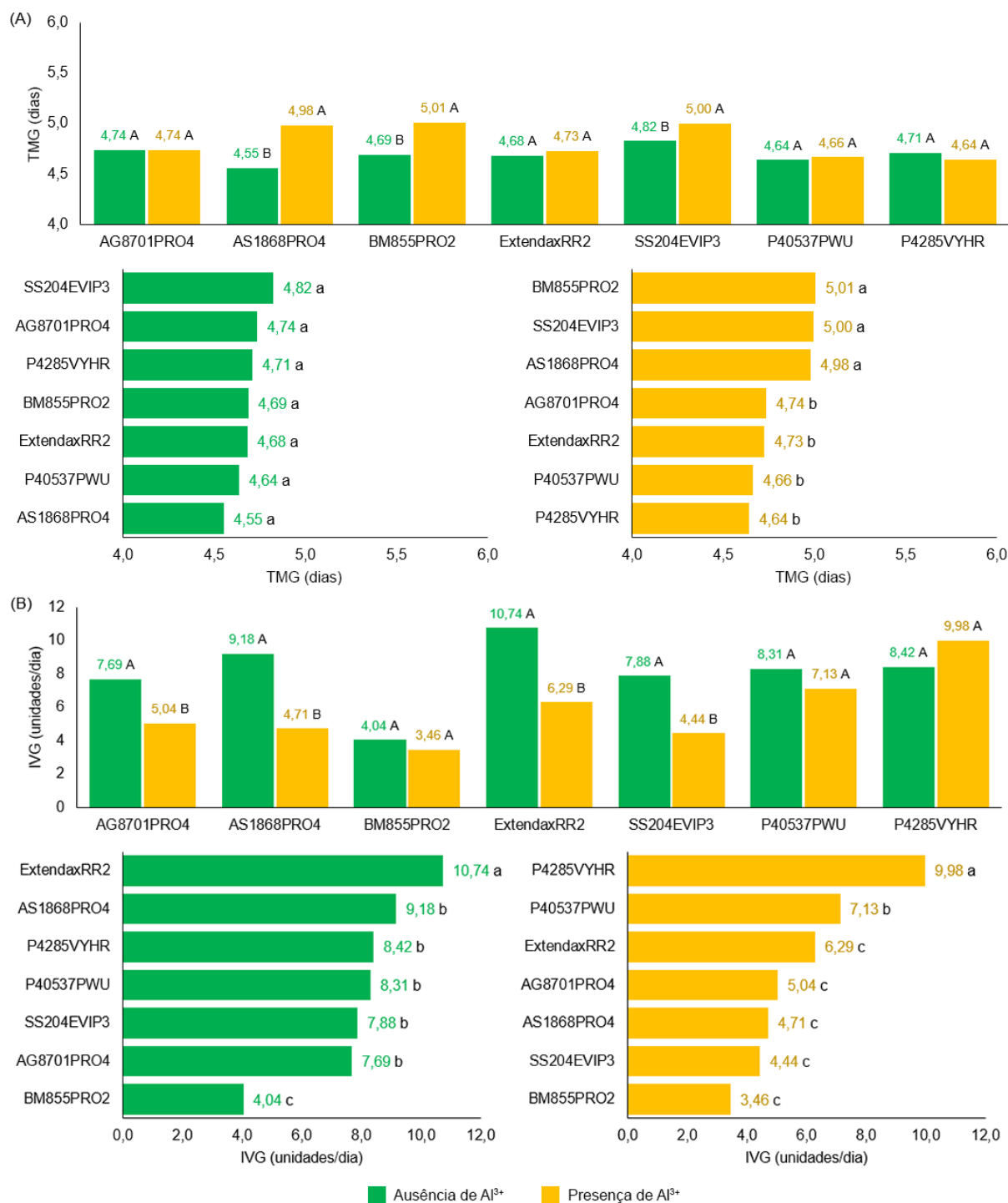


Figura 3 – Desdobramentos da interação (híbridos × alumínio) para tempo médio de germinação (A) e índice de velocidade de germinação (B) de sementes de milho de diferentes híbridos submetidos a germinação sob condições contrastantes de alumínio (médias seguidas pela mesma letra maiúscula, para cada híbrido, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; médias seguidas pela mesma letra minúscula, para cada condição de alumínio, não diferem estatisticamente entre si pelo critério de Scott-Knott; a 5% de probabilidade). (Fonte: os autores)

Examinou-se que os híbridos BM855PRO2, P40537PWU e P4285VYHR mantiveram seus índices de velocidade de germinação em ambas as condições de alumínio (Figura 3B acima). Os híbridos AG8701PRO4, AS1868PRO4, ExtendaxRR2 e SS204EVIP3 apresentaram

perdas na presença de alumínio, sendo mais pronunciada para AS1868PRO4 (49%) e menos para AG870PRO4 (34%).

O híbrido BM855PRO2 formou sozinho o grupo com menor índice de velocidade de germinação na condição de ausência de alumínio; enquanto ExtendaxRR2 apresentou, isoladamente, a germinação mais rápida (Figura 3B à esquerda). Na presença de alumínio, o híbrido P4285VYHR se destacou pela maior velocidade de germinação (Figura 3B à direita).

Notou-se que a presença de alumínio causou diferença significativa no comprimento das radículas das sementes germinadas da maioria dos híbridos (AG8701PRO4, AS1868PRO4, ExtendaxRR2, SS204EVIP3 e P40537PWU) (Figura 4A acima). Concentrações elevadas de alumínio causam desordens metabólicas nos tecidos vegetais, além da inibição da divisão celular, o alumínio pode se ligar a componentes da parede celular, aumentando sua rigidez e limitando a capacidade de expansão das células, resultando em prejuízos na emergência das radículas (Taylor, 1991; Taiz *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2022).

Na ausência de alumínio, os híbridos se separaram em quatro grupos homogêneos, sendo AS1868PRO4 e ExtendaxRR2 os que desenvolveram maiores comprimentos da radícula (Figura 4A à esquerda). Na condição de presença de alumínio, apenas os híbridos ExtendaxRR2 e P4285VYHR apresentaram radículas relativamente maiores do que os demais (Figura 4A à direita).

Com a exceção do híbrido P4285VYHR, houve efeito significativo da condição de alumínio sobre o comprimento dos coleóptilos para todos os híbridos de milho, ocorrendo limitação no desenvolvimento do coleóptilo em relação à presença de alumínio (Figura 4B acima). Além da inibição da divisão celular, o alumínio pode prejudicar o desenvolvimento germinativo pela limitação do uso da água e de nutrientes essenciais para o processo de germinação (Milane *et al.*, 2014; Taiz *et al.*, 2017).

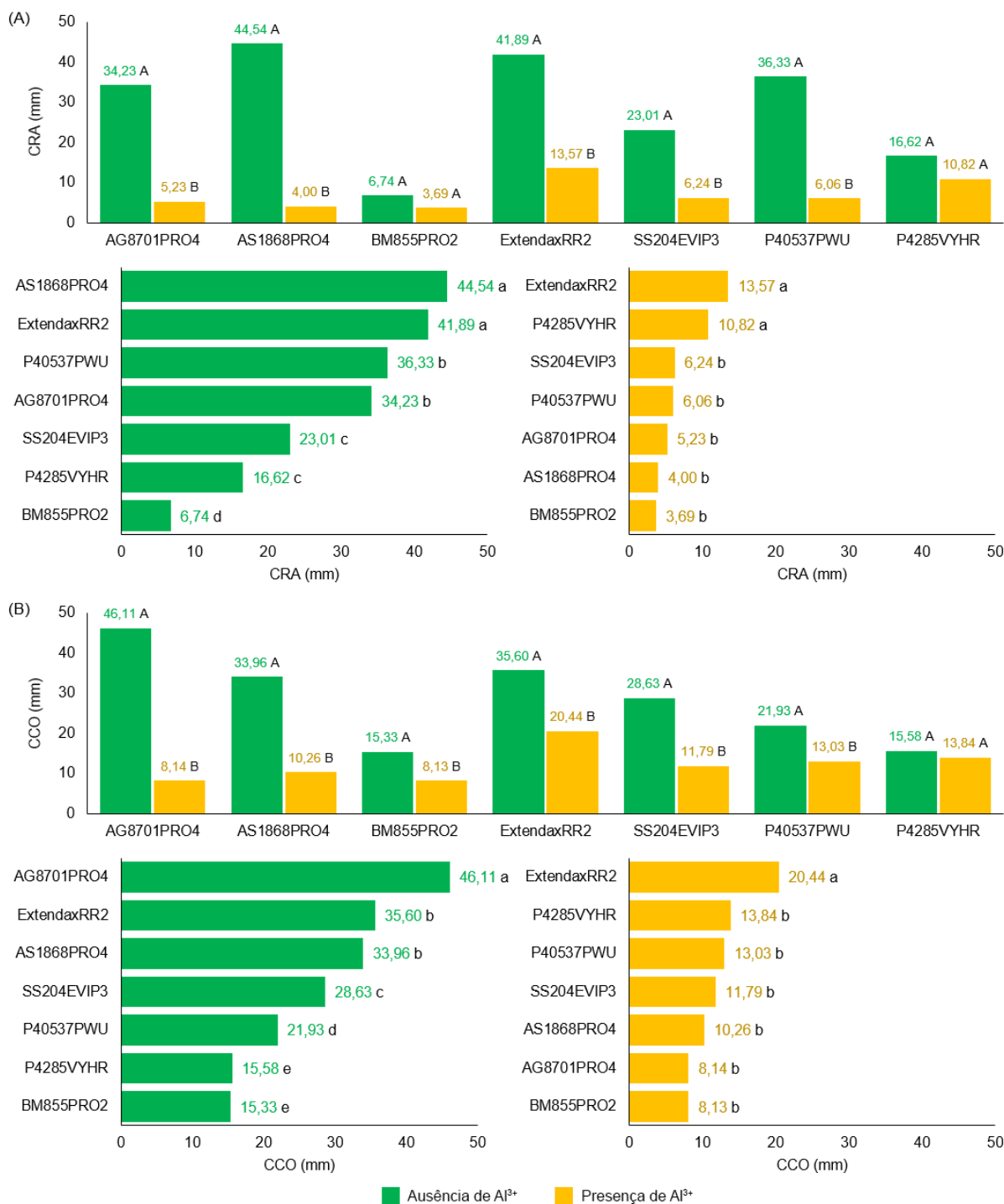


Figura 4 – Desdobramentos da interação (híbridos × alumínio) para comprimento da radícula (A) e comprimento de coleóptilo (B) de sementes de milho de diferentes híbridos submetidos a germinação sob condições contrastantes de alumínio (médias seguidas pela mesma letra maiúscula, para cada híbrido, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; médias seguidas pela mesma letra minúscula, para cada condição de alumínio, não diferem estatisticamente entre si pelo critério de Scott-Knott; a 5% de probabilidade). (Fonte: os autores)

O híbrido AG8701PRO4 obteve isoladamente o maior comprimento do coleóptilo para a condição de ausência de alumínio, já os híbridos P4285VYHR e BM855PRO2 foram os que o comprimento do coleóptilo foi menor (Figura 4B à esquerda). As sementes dos híbridos

incubadas com a presença de alumínio na solução apresentaram um comportamento semelhante, formando um grupo homogêneo, com apenas o híbrido ExtendaxRR2 apresentando um comportamento diferente dos demais, atingindo maior comprimento do coleóptilo para essa condição (Figura 4B à direita).

Os efeitos negativos do alumínio sobre a germinação de alguns dos híbridos de milho pode ser explicado pela possível inibição da divisão celular, alteração da rigidez das paredes celulares, limitação da absorção de água e pelo estresse oxidativo que esse elemento pode causar, já que o mesmo pode promover a produção de espécies reativas de oxigênio que além de inibir alguns processos metabólicos importantes para a germinação, podem danificar as células (Taylor, 1991; Machado, 1997; Taiz *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2022). É válido ressaltar que o milho também pode ser influenciado pelo alumínio de forma indireta, pela acidificação do meio (Milane *et al.*, 2014).

Esses efeitos podem se expressar com maior ou menor intensidade dependendo do nível de tolerância ou de sensibilidade do genótipo, tendo em vista que os mesmos podem expressar mecanismos de resistência; tal como o acúmulo desse elemento no simplasto, a formação de quelatos citoplasmáticos, a compartimentalização no vacúolo e a produção de enzimas tolerantes (Milane *et al.*, 2014; Rampim; Lana; 2013; Alves *et al.*, 2022). Dessa forma, há variabilidade de resposta ao alumínio dentre os híbridos de milho estudados, o que gera informações importantes que podem ser exploradas para o melhoramento genético da espécie visando o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao alumínio no solo, assim como para melhorar a recomendação dos híbridos para diferentes condições de cultivo.

Apesar de ambos os híbridos terem seus desenvolvimentos comprometidos, os híbridos P4285VYHR e ExtendaxRR2 se destacaram por serem capazes de emitir radículas relativamente maiores do que os demais na presença de alumínio. Além disso, nessa condição, P4285VYHR ainda apresentou maior velocidade de germinação, enquanto ExtendaxRR2 se destacou pelo desenvolvimento da radícula e do coleóptilo, tanto na condição de presença quanto na de ausência de alumínio.

Dentre o grupo de híbridos estudados, AS1868PRO4, SS204EVIP3 e BM855PRO2 demonstraram uma maior sensibilidade à presença de alumínio, participando da formação dos grupos de médias inferiores para porcentagem de germinação (PGP e PGF), além de apresentarem germinação mais lenta (TMG e IVG) e desenvolvimento menor de radículas e coleóptilos (CRA, CCO e R/C), quando sujeitos ao meio com presença de alumínio.

CONCLUSÃO

A germinação das sementes de milho é influenciada tanto pelas condições de alumínio no meio quanto pelo efeito genotípico da diferença entre os híbridos, havendo uma interação significativa entre esses fatores.

Sob a concentração de alumínio estudada, nota-se um efeito detrimental sobre a germinação das sementes de milho. Apesar de alguns híbridos não apresentarem limitação na proporção de sementes germinadas, a presença de alumínio causa limitação do crescimento de radículas e coleóptilos.

Os híbridos P4285VYHR e ExtendaxRR2 se destacam por emitirem radículas relativamente maiores do que os demais na presença de alumínio, enquanto AS1868PRO4, SS204EVIP3 e BM855PRO2 apresentam maior sensibilidade ao alumínio durante sua germinação.

REFERÊNCIAS

AGROCERES. **Sementes de milho**: AG 8701 PRO4. Rio Verde-GO: Bayer Crop Science, 2024a. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/d/milho-agroceres-ag-8701-pro4-br>. Acesso em: 10 out. 2024.

AGROCERES. **Sementes de milho**: AS 1868 PRO4 – safrinha tropical terras altas. Rio Verde-GO: Bayer Crop Science, 2024b. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/d/milho-agroeste-as-1868-pro4-safrinha-tropical-terras-altas-br>. Acesso em: 10 out. 2024.

ALVES, R. M. *et al.* Aluminium toxicity: oxidative stress during germination and early development in purple maize. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 53, e20207676, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220039>. Acesso em: 10 out. 2024.

BIOMATRIX. **BM 855**: estável e produtivo para verão e safrinha. Patos de Minas-MG: Grupo Agrocere, 2024a. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/produtos/bm-855>. Acesso em: 10 out. 2024.

BIOMATRIX. **GLYFOS RR**: híbrido para refúgio que protege sua lavoura. Patos de Minas-MG: Grupo Agrocere, 2024b. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/produtos/glyfos-rr>. Acesso em: 10 out. 2024.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

KOCHIAN, L. V. *et al.* Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. **Annual Review of Plant Biology**, Berkeley, v. 66, p. 571-598, 2015.

LABORIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calostropis procera* (Ait.) f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p.

263-284, 1976.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Lubbock, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Registro nacional de cultivares**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2024. Disponível em:

https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 10 out. 2024.

MAZZOCATO, A. C. *et al.* Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 19-24, 2002.

MILANE, L. V. *et al.* Acidez e alumínio na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de milho. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. 1, p. 188-198, 2014.

NIDERA SEMENTES. **NS 80 VIP3**: em diferentes ambientes, um só híbrido; 2024. Disponível em: <https://www.niderasementes.com.br/portfolio/ns-80-vip3>. Acesso em: 10 out. 2024.

PETRETE, V. G. *et al.* Estudos de toxidez de alumínio em genótipos de soja e milho cultivados em bioensaios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais [...]**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 1-5.

PIONEER. **Milho**: P40537PWU. 2024a. Disponível em: <https://www.pioneer.com/br/portfolio-de-produtos/milho-todos/P40537PWU.html>. Acesso em: 10 out. 2024.

PIONEER. **Milho**: P4285VYHR. 2024b. Disponível em: <https://www.pioneer.com/br/portfolio-de-produtos/milho-todos/P4285VYHR.html>. Acesso em: 10 out. 2024.

PREZOTTI, L. C. *et al.* **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: 5ª aproximação. Vitória-ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007.

RAMPIM, L.; LANA, M. C. Mecanismo de tolerância interna das plantas ao alumínio. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 9, n. 2, p. 72-89, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999.

SANTA HELENA. **SHS SUPERR**: alto potencial produtivo com a tecnologia RR. 2024. Disponível em: <https://santahelenasementes.com.br/produtos/shs-superr>. Acesso em: 10 out. 2024.

SINGH, S. *et al.* Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: a review. **Environmental and Experimental Botany**, Lancaster, v. 137, p. 1-63, 2017.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 205-274.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAYLOR, G. J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. **Communication in Soil Science and Plants Analysis**, Philadelphia, v. 19, p. 1179-1194, 1991.

VAN'T HOFF, J. X. I. I. The function of osmotic pressure in the analogy between solutions and gases. **Proceedings of the Physical Society of London**, London, v. 9, n. 1, p. 81-105, 1887.

ZHANG, J. *et al.* The role of the plasma membrane H⁺-ATPase in plant responses to aluminum toxicity. **Frontiers in Plant Science**, Beijing, v. 8, 2017.