

Artigo Científico

## Efeito do potencial osmótico na interação genótipo e vigor de sementes de milho

Camila Ribeiro de Souza Grzybowski<sup>1</sup>  
Rosemeire Carvalho da Silva<sup>2</sup>  
Tereza Cristina de Carvalho<sup>3</sup>  
Maristela Panobianco<sup>4</sup>

### Resumo

Os solos férteis geralmente possuem uma alta capacidade de troca de cátions, o que contribui na disponibilidade de solutos e altera seu potencial osmótico.

Como o cultivo de milho requer solos de alta fertilidade; o potencial osmótico destes solos normalmente é negativo. Desta forma, o uso de sementes vigorosas confere maiores chances ao estabelecimento das plantas em campo, sendo que o fator genético pode atuar também nessas situações. Em virtude disso, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência do genótipo e do vigor da semente de milho no desenvolvimento de plântulas, sob efeito do potencial osmótico. Foram utilizadas sementes de duas cultivares de híbridos simples (30F35R e 30P70H), cada uma representada por três lotes com diferenças no vigor, avaliadas inicialmente por meio da determinação do teor de água e da emergência de plântulas em campo. Os tratamentos de estresse osmótico testados foram compostos por: zero; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 e -0,6 MPa, obtidos com solução de Polietilenoglicol 6000. Conclui-se que em situações de solos com potencial osmótico negativo, a influência do vigor da semente de milho no estabelecimento do estande é relevante, especialmente quando o genótipo apresenta características de tolerância ao estresse hídrico.

**Palavras chave:** *Zea mays* L., qualidade genética, germinação, restrição hídrica.

### Effect of osmotic potential on genotype and vigor interaction of corn seeds

#### Abstract

Fertile soils generally have a high cation exchange capacity, which contributes to the availability of solutes and alters their osmotic potential. As corn cultivation requires high fertility soils; the osmotic potential of these soils is usually negative. In this way, the use of vigorous seeds confers greater chances to establish the plants in the field, and the genetic factor can also act in these situations. As a result, the objective of this work was to investigate the influence of genotype and maize seed vigor on seedling development, under the effect of osmotic potential. Seeds of two cultivars of single hybrids (30F35R and 30P70H) were used, each one represented by three batches with differences in vigor, evaluated initially by determining the water content and the emergence of field seedlings. The osmotic stress treatments tested were: zero; -0.1; -0.2; -0.3; -0.4 and -0.6 MPa, obtained with Polyethylene glycol 6000 solution. It is concluded that in situations of soils with negative osmotic potential, the influence of the vigor of the maize seed in the establishment of the stand is relevant, especially when the genotype presents characteristics of tolerance to water stress.

**Keywords:** *Zea mays* L., genetic quality, germination, water restriction.

### Efecto del potencial osmótico sobre la interacción genotipo y vigor de las semillas de maíz

#### Resumen

Los suelos fértiles tienen en general una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que contribuye a la disponibilidad de solutos y altera su potencial osmótico. Cómo el cultivo de maíz requiere suelos de alta fertilidade el potencial osmótico de estos suelos normalmente es negativo. Por lo tanto, el uso de semillas vigorosas brinda mayores oportunidades para el establecimiento de plantas en el campo, y el factor genético también puede actuar en estas situaciones. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue investigar la influencia

Received at: 18/04/2019

Accepted for publication at: 23/05/2019

1 - Eng. Agrônoma, Doutora em Agronomia. Email: camilaribeirodesouza@gmail.com

2 - Eng. Agrônoma, Prof.<sup>a</sup> Doutora. Email: rosemeire.silva@ifpr.edu.br

3 - Eng. Agrônoma, Prof.<sup>a</sup> Doutora. Email: tcscarva@gmail.com

4 - Eng. Agrônoma, Professora Doutora. Email: mpanobianco@gmail.com

del genotipo y el vigor del maíz en el desarrollo de las plántulas bajo el efecto del potencial osmótico. Se utilizaron semillas de dos cultivares híbridos simples (30F35R y 30P70H), cada uno representado por tres lotes con diferencias de vigor, inicialmente evaluados por la determinación del contenido de agua y la emergencia de las plántulas en el campo. Los tratamientos de estrés osmótico probados fueron: cero; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 y -0,6 MPa, obtenido con solución de polietilenglicol 6000. Se concluye que en situaciones de suelos con potencial osmótico negativo, la influencia del vigor de las semillas de maíz en el establecimiento del stand es relevante, especialmente cuando el genotipo presenta características de tolerancia al estrés hídrico.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., calidad genética, germinación, restricción hídrica.

## Introdução

A restrição hídrica, encontrada em solos com potencial osmótico muito negativo, é um dos fatores limitantes na produção do milho em lavouras do mundo inteiro (LIU et al., 2015), destacando-se o estabelecimento inicial da cultura em campo como uma das fases mais sensíveis. As alterações no potencial osmótico do solo podem ser provocadas por variações climáticas, como períodos de seca na semeadura, ou ser influenciada por condições edáficas do solo, a condutividade hidráulica e elétrica, a textura do solo, o grau de compactação do solo e a adubação (BEWLEY e BLACK 1985, DUARTE e SOUZA, 2016).

O período de desenvolvimento inicial da plântula é considerado crítico, uma vez que o estresse hídrico durante a fase de embebição da semente pode alterar a velocidade, a porcentagem e a uniformidade da germinação (GORDIN et al., 2015), sendo que as sementes que demoram mais para emergir ficam suscetíveis ao ataque de patógenos, comprometendo o estabelecimento adequado do estande de plantas em campo.

A propagação assexuada ou vegetativa adotada normalmente para a Amarelis é vantajosa, considerando a fidelidade genética dos novos indivíduos. Porém apresenta como limitações o tempo necessário para o processo de propagação e a qualidade fitossanitária das plantas; principalmente em relação à incidência de vírus, que é um dos principais problemas para o desenvolvimento desse setor no Brasil (AMARAL, 2005; AMARAL, 2007).

O grau de interferência das adversidades ambientais, como a restrição hídrica, e a genética do material semeado têm sido investigados em diferentes trabalhos, os quais buscam avaliar o desempenho das sementes e plântulas de determinados genótipos quando expostas ao estresse hídrico, em espécies como crambe (MACHADO et al., 2017), milho-pipoca

(MOTERLE et al., 2008; VAZ-DE-MELO et al., 2012), cenoura (SILVA et al., 2011), algodão (ECHER et al., 2010; MENESES et al., 2011) e sorgo forrageiro (OLIVEIRA e GOMES-FILHO, 2009), bem como visam caracterizar e selecionar genótipos tolerantes ao déficit hídrico em programas de melhoramento genético (ABREU et al., 2014).

Entretanto, para analisar a tolerância a um estresse, ou seja, verificar a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ e ZEIGER, 2017), é necessário avaliar também a influência da qualidade fisiológica da semente nessa condição, especialmente o vigor (AOSA, 2009). É possível supor que sementes mais vigorosas possuem teoricamente maior capacidade de tolerar fatores adversos em campo (MATHEWS e POWELL, 1986; SILVA et al., 2016).

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo investigar a influência do genótipo e do vigor da semente de milho no desenvolvimento de plântulas, sob efeito do potencial osmótico.

## Materiais e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal do Paraná, utilizando sementes de milho de duas cultivares de híbrido simples (30F35R e 30P70H), sendo cada uma representada por três lotes, com diferenças no vigor da semente. As sementes dos dois híbridos receberam tratamento com fungicida (carbendazim). Inicialmente, os lotes foram homogeneizados pelo método manual, baseando-se nos critérios das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e divididos em quatro repetições. Durante o período experimental, as sementes ficaram armazenadas em sacos de papel do tipo Kraft, sob ambiente controlado ( $15 \pm 2$  °C e 50-60% de umidade relativa do ar).

Para a caracterização da qualidade inicial dos lotes foi realizada a emergência de plântulas

em campo, com quatro repetições de 100 sementes por lote, em delineamento de blocos casualizados, e a determinação do teor de água inicial pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C durante 24 horas, com duas repetições de 5 g de sementes por lote (BRASIL, 2009).

Na condução do teste de germinação utilizaram-se oito repetições de 25 sementes por tratamento, distribuídas em rolos de papel toalha umedecidos com as soluções de Polietilenoglicol 6000 (PEG), em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco, mantidas em germinador do tipo Mangelsdorf a 25 °C. Foram testadas as seguintes concentrações: 0,0 (água potável sem adição de PEG, compondo a testemunha); -0,1; -0,2; -0,3; -0,4 e -0,6 MPa, obtidos a partir de solução de Polietilenoglicol 6000. Para a obtenção de cada potencial osmótico dessas soluções, seguiu-se a tabela proposta por Villela et al. (1991), onde constam as quantidades de sal a serem diluídas em água.

A contagem de plântulas normais foi realizada no quinto dia após semeadura e os resultados expressos em porcentagem média de plântulas normais para cada tratamento. A determinação do comprimento de parte aérea e raiz, assim como a massa seca e o volume radicular, foram realizadas em conjunto com o teste de germinação, utilizando-se 10 plântulas normais por repetição para cada tratamento.

As medições do comprimento de parte aérea e de raiz foram obtidas com auxílio de régua milimétrica, tendo a parte aérea medida a partir da base do epicótilo das plântulas até a extremidade das folhas primárias; e o comprimento de raiz medido desde a base do epicótilo até a extremidade da raiz primária, sendo os resultados expressos em centímetro médio por plântula.

Para a determinação da massa seca extraíram-se as cariopses das plântulas e, em seguida, estas

foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa de circulação de ar a 65 °C, até a obtenção de massa constante. Na avaliação do volume radicular, os sistemas radiculares das plântulas normais foram extraídos, submetidos à leitura ótica com *scanner* e analisados pelo programa "Win MacRhizo", com os resultados expressos em mg e mm<sup>3</sup> por plântula, respectivamente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,01$ ) e de regressão, sendo os modelos escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância. Os dados iniciais obtidos no teste emergência de plântulas foram analisados pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ) e os resultados de teor de água da semente não passaram por tratamento estatístico.

## Resultados e discussão

Analisando-se o teor de água inicial das sementes dos três lotes de cada híbrido (Tabela 1), observa-se que as amostras do híbrido 1 (30F35R) tiveram variações máximas entre os teores dos lotes de 0,6% e do híbrido 2 (30P70H) de 0,4%. Este resultado é indicativo da homogeneidade da variável avaliada, fator este indispensável para a realização das análises com maior confiabilidade nos resultados, em função do controle das fontes de variação do experimento (MARCOS-FILHO, 2015).

A qualidade inicial dos lotes, determinada pelo teste de emergência de plântulas em campo (Tabela 1), revelou que os lotes 1 e 3 apresentaram maior vigor em relação ao lote 2 para o híbrido 1 (30F35R), sendo que para o híbrido 2 (30P70H) os lotes 4 e 6 foram classificados como de vigor mais elevado do que o lote 5. Essa diferença encontrada no nível de vigor entre os lotes de cada genótipo é fundamental para verificar a sua influência na

**Tabela 1.** Teor de água inicial de sementes e emergência de plântulas em campo de três lotes de milho, de dois híbridos simples (30F35R e 30P70H).

Híbridos (H)	Lotes	Teor de água inicial	Emergência de plântulas
		(%)	(%)
30F35R (H1)	1	10,1	97 a
	2	10,0	93 b
	3	9,5	97 a
	C.V. (%)	-	1,45
30P70H (H2)	4	9,6	99 a
	5	9,6	92 b
	6	9,2	99 a
	C.V. (%)	-	1,67

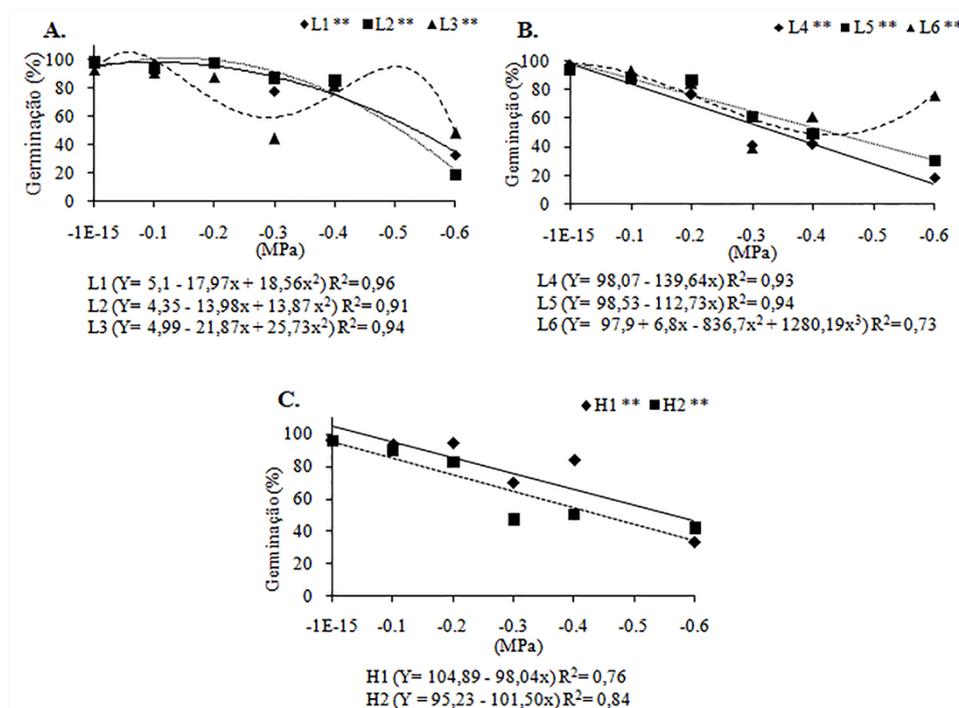
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ )

germinação da semente e no desenvolvimento das plântulas em condições de estresse hídrico no solo. A capacidade da semente em produzir uma plântula normal decorre do seu potencial fisiológico, representado pela germinação e pelo vigor (DIAS et al., 2010). Logo, o uso de sementes de alto vigor pode ser uma estratégia para reduzir problemas no crescimento de plântulas (SILVA et al., 2016).

A germinação do híbrido 1 (30F35R) exibiu comportamento semelhante tanto para lote de alto vigor (L1) quanto para o de baixo vigor (L2), decrescendo em função da redução do potencial osmótico (Figura 1A), com diminuição significativa para os três lotes na concentração de -0,6 MPa. No caso do híbrido 2 (30P70H), verificou-se (Figura 1B), que o lote 6 (alto

vigor), não apresentou redução da sua germinação, quando o potencial osmótico estava em -0,4 a -0,6 MPa.

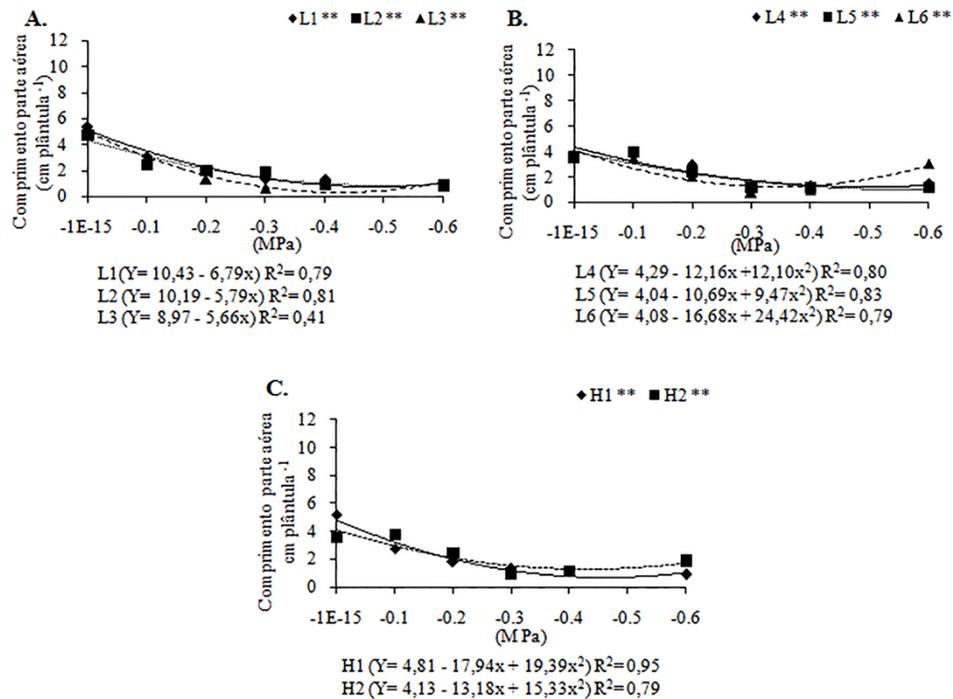
Os dados médios de comparação da germinação de sementes dos dois híbridos ajustaram-se a modelos lineares (Figura 1C), cuja inclinação da curva mostrou que independentemente do genótipo, houve uma redução significativa no poder germinativo, em relação à testemunha, com o decréscimo do potencial osmótico, de tal modo que sob condições de -0,6 MPa houve queda para 44% de germinação no híbrido 1 (30F35R) e 36% no híbrido 2 (30P70H). Essa redução verificada na taxa de germinação com o decréscimo do potencial osmótico é uma tendência observada em alguns trabalhos (MOTERLE et al., 2008; LIU et al., 2015; QUEIROZ e CAZETTA, 2016).



**Figura 1.** Germinação de sementes de milho em condições de potencial osmótico: A. híbrido 1 (30F35R); B. híbrido 2 (30P70H); C. comparação entre os híbridos H1 (30F35R) e H2 (30P70H). (\*\*) nível de significância  $p < 0,01$ .

Quanto ao comprimento da parte aérea de plântulas (Figura 2), houve redução do crescimento, à medida que os potenciais osmóticos se tornaram mais negativos. Essa tendência ficou evidente na análise de regressão dos dados, onde se visualizou comportamento semelhante para ambos os genótipos testados e também para os lotes com diferenças de nível de vigor (Figuras 2A e 2B). Tal ocorrência pode

ser considerada como uma estratégia de defesa da planta ao déficit hídrico, reduzindo a parte aérea para evitar a perda de água por transpiração (ECHER et al., 2010). Embora os dois genótipos tenham seguido a mesma tendência, o híbrido 2 (30P70H) mostrou-se mais tolerante ao estresse (Figura 2C), apresentando a partir de -0,3 MPa comprimento médio da parte aérea superior ao do híbrido 1 (30F35R).



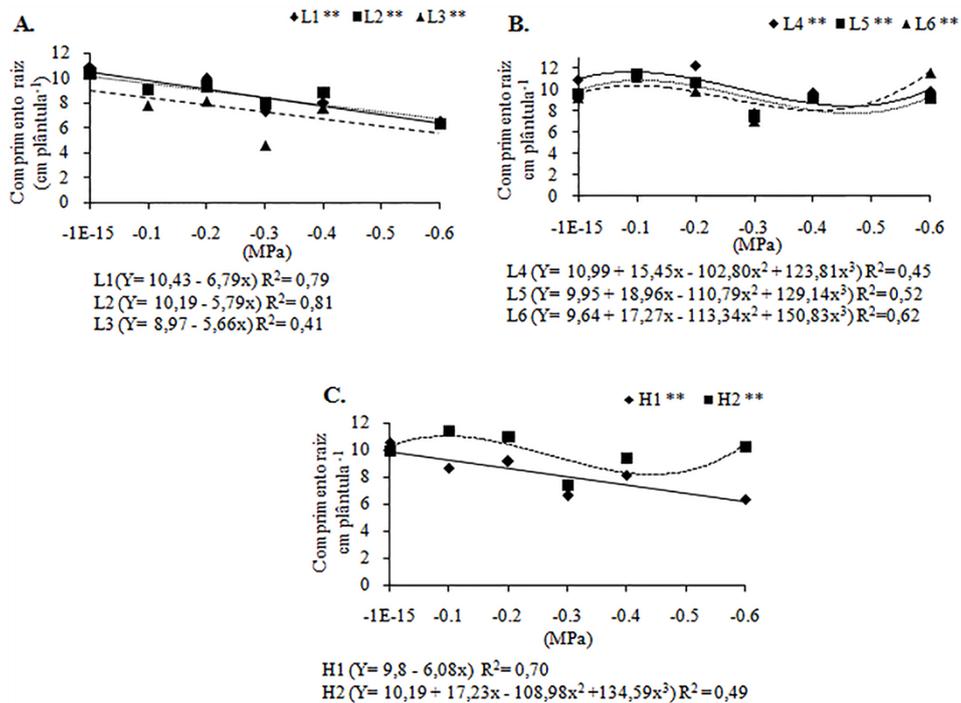
**Figura 2.** Comprimento de parte aérea das plântulas em condições de potencial osmótico: A. híbrido 1 (30F35R); B. híbrido 2 (30P70H); C. comparação entre os híbridos H1 (30F35R) e H2 (30P70H). (\*\*) nível de significância, onde  $p < 0,01$ .

Já o comprimento da raiz primária foi a variável que mais diferiu em função da genética do material (Figura 3), sendo que independentemente do vigor inicial do lote, o híbrido 1 (30F35R) mostrou-se mais sensível, reduzindo o comprimento da raiz primária com o aumento do estresse hídrico (Figura 3A).

Diferentemente, o híbrido 2 (30P70H) obteve ajuste a uma regressão polinomial de terceira ordem (Figura 3B) por apresentar maior comprimento da raiz primária no menor potencial osmótico (-0,6 MPa). Esta resposta pode ser uma estratégia de aclimação da planta ao estresse hídrico, uma vez que há maior crescimento radicular dela para procurar água em profundidade no solo (TAIZ e ZEIGER, 2017), destacando-se novamente à tolerância do híbrido 2 ao déficit hídrico (Figura 3C).

Vale destacar, ainda, que no híbrido 2 os lotes de maior vigor (L4 e L6) apresentaram maior comprimento da raiz em comparação ao lote de menor vigor (L5), na situação de menor potencial osmótico, ou seja, -0,6 MPa (Figura 3B). Indicando que o comprimento da raiz pode ser uma forma de auxiliar a determinação do vigor de sementes de gramíneas (Conceição et al., 2012).

Em relação ao volume radicular das plântulas (Figura 4), o híbrido 1 (30F35R) apresentou decréscimo de volume, com a redução do potencial osmótico (Figura 4A). Isso pode ter ocorrido pelo fato de que sementes menos vigorosas apresentam-se mais deterioradas e tendem a possuir maior dificuldade para superar condições adversas, demonstrando consequentemente desempenho inferior.

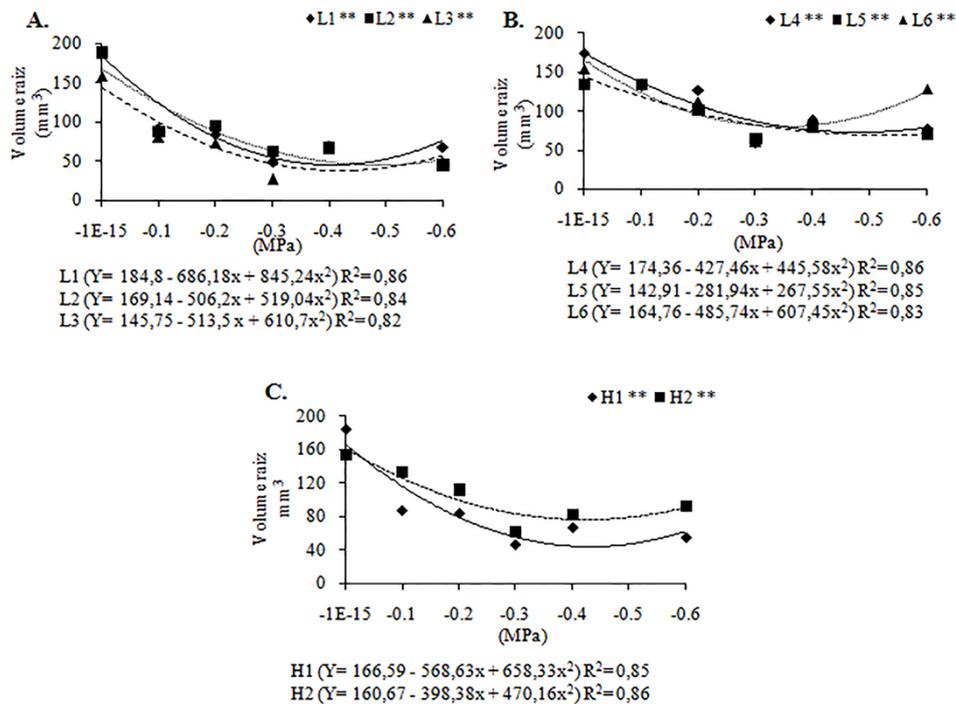


**Figura 3.** Comprimento da raiz primária de plântulas de milho em condições de potencial osmótico: A. híbrido 1 (30F35R); B. híbrido 2 (30P70H); C. comparação entre os híbridos H1 (30F35R) e H2 (30P70H). (\*\*) nível de significância, onde  $p < 0,01$ .

O híbrido 2 (30P70H), apesar de apresentar decréscimo no volume radicular dos lotes (Figura 4B), mostrou-se mais tolerante a condições de baixo potencial de soluto, ao exibir queda menos acentuada no volume de raiz (Figura 4B). Deve-se salientar ainda o comportamento distinto do lote 6 (alto vigor) no menor potencial osmótico (-0,6 MPa), o qual mesmo sob alto estresse abiótico direcionou energia

para a recuperação do volume radicular, capacidade possivelmente adquirida em razão do seu elevado potencial fisiológico.

Comparando-se o comportamento dos dois híbridos em relação ao volume radicular (Figura 4C), nota-se mais uma vez que o híbrido 2 (30P70H) mostrou-se mais tolerante ao estresse hídrico, em todas as condições estudadas.



**Figura 4.** Volume radicular de plântulas de milho em condições de potencial osmótico: A. híbrido 1 (30F35R); B. híbrido 2 (30P70H); C. comparação entre os híbridos H1 (30F35R) e H2 (30P70H). (\*\*) nível de significância, onde  $p < 0,01$ .

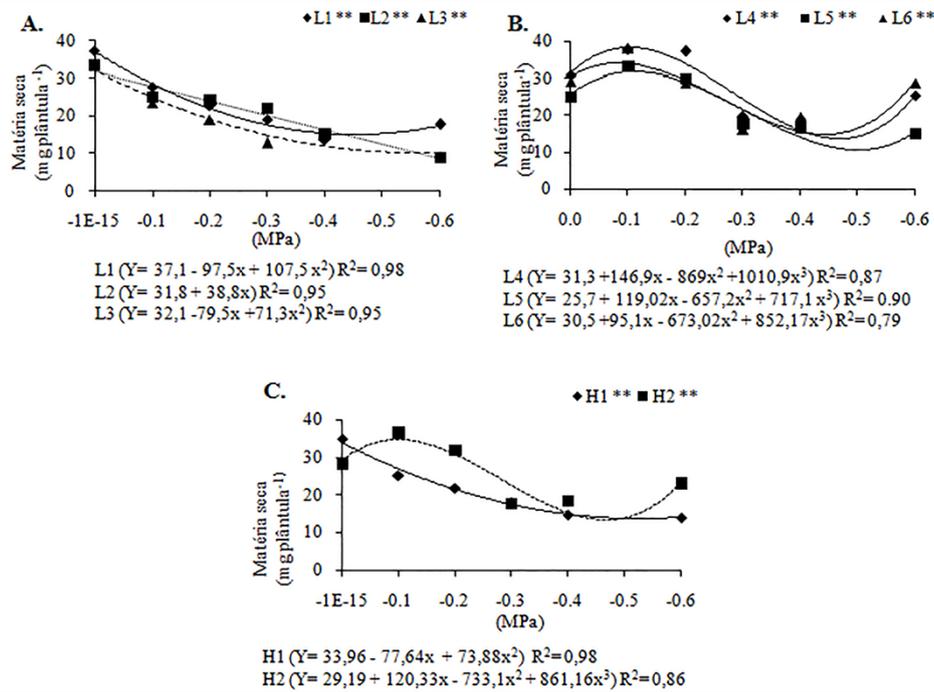
Quanto a massa seca de plântulas (Figura 5), o decréscimo do potencial osmótico proporcionou a redução de massa no híbrido 1 (Figura 5A). Provavelmente decorrente da diminuição do comprimento da parte aérea (Figura 2A) e da raiz primária (Figura 3A), bem como do volume radicular (Figura 4A); esse comportamento foi indiferente ao nível de vigor dos lotes. Os dados obtidos para massa seca do híbrido 2 (Figura 5 B) seguiram tendência semelhante à curva ajustada para o comprimento da raiz primária (Figura 3B). Porém, com maiores alternâncias na curva, o que pode ser explicado pelo fato da variável neste momento incluir as raízes secundárias durante avaliação, as quais não foram contabilizadas para o comprimento da raiz primária.

O aumento do volume de raízes justifica-se pelo maior acúmulo de carboidratos translocados para o meristema radicular em crescimento, comportamento observado para esse híbrido mais adaptado ao déficit hídrico (30P70H). Conferindo uma estratégia da planta para suprir maior demanda energética das células em alta taxa divisão e

expansão, para poder se aprofundar no solo em busca de água (TAIZ e ZEIGER, 2017).

É possível verificar que o desempenho do lote 5 (menor vigor) foi sempre inferior ao dos lotes de potencial fisiológico superior, ou seja, 4 e 6 (Figura 5B), independentemente do potencial osmótico do substrato.

De maneira geral, para todas as variáveis estudadas, os valores decresceram à medida que se reduz o potencial osmótico, principalmente nos lotes do híbrido 1 (30F35R), que revelou maior sensibilidade a esse tipo de estresse, não demonstrando influência do vigor da semente de milho. Diferentemente para o híbrido 2 (30P70H) os lotes mais vigorosos apresentaram maior plasticidade no desenvolvimento de plântulas em tais situações. Assim, verifica-se que para o híbrido 2 (mais tolerante a redução do potencial osmótico), a influência do vigor foi mais marcante, ressaltando a necessidade de se considerar a interação genótipo e qualidade fisiológica das sementes para assegurar o estabelecimento do estande em condições de baixo potencial osmótico.



**Figura 5.** Massa seca de plântulas de milho em condições de potencial osmótico: A. híbrido 1 (30F35R); B. híbrido 2 (30P70H); C. comparação entre os híbridos H1 (30F35R) e H2 (30P70H). (\*\*) nível de significância, onde  $p < 0,01$ .

## Conclusão

Conclui-se que em situações de solos com baixa disponibilidade de água, a influência do vigor da semente de milho no estabelecimento do estande é relevante quando o genótipo apresenta características de tolerância ao estresse hídrico.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas.

## Referências

ABREU, V.M.; PINHO, E.V.R.V.; PINHO, R.G.V.; NAVES, G.M.F.; NETA, I.C.S.; GUIMARÃES, R. M.; CARVALHO, M.R. Physiological performance and expression of isozymes in maize seeds subjected to water stress. *Journal of Seed Science*, v.36, n.1, p.40-47, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - AOSA. **Seed vigour testing handbook**. East Lansing: AOSA, 2009. 334p. (Contribution, 32).

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1985. 367p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa: ACS, 2009. 395p.

CONCEIÇÃO, P. M.; SEDIYAMA, C. A. Z.; VIEIRA, R. F.; GALVÃO, J. C. C.; CORREA, M. L. P.; CONCEIÇÃO, P. S. Estimativa do vigor de sementes de milho através da avaliação do sistema radicular de plantas. **Ciência Rural**, v.42, n.4, p.600-606, 2012.

DIAS, M.A.N.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M. Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.2 p.093-101, 2010.

DUARTE, H.H.F.; SOUZA, E.R. Soil water potentials and *Capsicum annuum* L. under salinity. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.40, p. 1-11, 2016.

ECHER, F. R.; CUSTODIO, C. C.; HOSSOMI, S. T.; DOMINATO, J. C.; MACHADO-NETO, N. B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n.4, p.638-645, 2010.

GORDIN, C.R.B.; SCALON, S.P.Q.; MASETTO, T.E. Disponibilidade hídrica do substrato e teor de água da semente na germinação de Níger. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.3, p.312-318, 2015.

LIU, M.; LI, M.; LIU, K.; SUI, N. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. **Journal of Agricultural Science**, v.7, n.5, p.231-240, 2015.

MACHADO, F. H. B.; DAVID, A. M. S. S.; CANGUSSÚ, L. V. S.; FIGUEREDO, J. C.; AMARO, H. T. R. Physiological quality of seed and seedling performance of crambe genotypes under water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.3, p.175-179, 2017.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2.ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660p.

MATHEWS, S.; POWELL, A. A. Environmental and physiological constraints on field performance of seeds. **Horticultural Science**, v.21, n.5, p. 1125-1128, 1986.

MENESES, C.H.S.G.; BRUNO, R. de L.A.; FERNANDES, P.D.; PEREIRA, W.E.; LIMA, L.H.G. de M.; LIMA, M.M. de A.; VIDAL, M.S. Germination of cotton cultivar seeds under water stress induced by polyethyleneglycol-6000. **Scientia Agrícola**, v.68, n.2, p.131-138, 2011.

MOTERLE, L.M.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; RODOVALHO, M.A.; BARRETO, R.R. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.6, p.1810-1817, 2008.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.3, p.48-56, 2009.

QUEIROZ, R. J. B.; CAZETA, J. O. Proline and trehalose in maize seeds germinating under low osmotic potentials. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.22-28, 2016.

SILVA, M. C. C.; MEDEIROS, A. F. A.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E.; COELHO, F. S.; BRAUN, H. Efeito do estresse hídrico e térmico na germinação e no vigor de sementes de cenoura. **Ideisia** (Arica), v.29, n.3, p. 39-44, 2011.

SILVA, R. C.; GRZYBOWSKI, C. R.; PANOBIANCO, M. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 491-499, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Editora: Artmed, 2017. 888p.

VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, v.28, n.5, p.687-695, 2012.

VILLELA, F. A.; DONI-FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11/12, p. 1957-1958, 1991.