

## Utilização de índices de tolerância na avaliação do estresse hídrico em milho.

**Rafaela Beiral Campos Borges<sup>(1)</sup>; Luiz Paulo Miranda Pires<sup>(2)</sup>; Álvaro de Oliveira Santos<sup>(3)</sup>; Renzo Garcia Von Pinho<sup>(4)</sup>; Lauro José Guimarães<sup>(5)</sup>; Felipe Ribeiro Resende<sup>(6)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Estudante; Universidade Federal de Lavras; Lavras, Minas Gerais; rbeiralborges@gmail.com; <sup>(2)</sup> Doutorando; Universidade Federal de Lavras; <sup>(3)</sup> Pesquisador associado; Syngenta; <sup>(4)</sup> Professor; Universidade Federal de Lavras; <sup>(5)</sup> Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo; <sup>(6)</sup> Estudante; Universidade Federal de Lavras.

**RESUMO:** O estresse hídrico é o fator abiótico com o maior impacto para a produtividade das culturas vegetais. O objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos e a tolerância ao estresse hídrico de híbridos de milho. Foram avaliados 86 híbridos, em ambientes com e sem restrição hídrica, em três anos consecutivos. Utilizou-se o delineamento látice quadrado (6x6) com 6 tratamentos comuns, com 4 repetições. Foram avaliadas as características de produtividade de grãos potencial (PGp), produtividade de grãos sob estresse hídrico (PGs), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), altura de planta (AP) e espiga (AE). Avaliou-se os índices de susceptibilidade à seca (ISS), de tolerância ao estresse hídrico (TOL), o coeficiente de resistência à seca (CS), de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH). Houve diferença entre os híbridos e ambientes para todas as características avaliadas. Os híbridos 3, 6, 63 e 71 apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com restrição hídrica. Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica.

**Termos de indexação:** produtividade de grãos, resistência a seca, interação genótipo-ambiente.

### INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes estresses abióticos que afetam e reduzem a produtividade dos principais cereais produzidos no mundo, o estresse hídrico é o fator com o maior impacto para a produção estável, principalmente nos países tropicais (PARENT et al., 2015; MIR et al., 2012).

Visando amenizar as perdas de produtividade das culturas sob estresse hídrico, recentes pesquisas tem buscado a identificação e desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes à seca por meio do melhoramento genético (GAFFNEY et al., 2015; COOPER et al., 2014).

Índices de tolerância tem sido utilizados para avaliação de genótipos de trigo e cevada com eficiência (MORADI et al., 2012). Entretanto, na cultura do milho, estes índices de tolerância tem sido pouco explorados, portanto, há potencial para a utilização destes índices como mais uma ferramenta de auxílio na identificação e desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes ao estresse hídrico.

Diante do exposto, o objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos e a tolerância ao estresse hídrico de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em área da Estação Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha-MG, nos anos de 2011, 2012 e 2013.

A semeadura foi realizada no mês de maio de cada ano, sob sistema de irrigação por gotejamento. O estresse hídrico foi imposto através da suspensão da irrigação nas parcelas do ambiente com restrição hídrica (A1) 45 dias após a emergência (45 DAE), permanecendo até a colheita. No ambiente sem restrição hídrica (A2), a irrigação foi realizada regularmente até o estádio R3, mantendo a capacidade de campo do solo.

As parcelas foram constituídas de uma linha de 4 metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,8 metros, sendo a área útil da parcela de 3,2 m<sup>2</sup>. A população final de plantas foi de 60 mil plantas/ha.

Todos os tratamentos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura, buscando-se o máximo rendimento dos híbridos avaliados.

Foram avaliados 79 híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e e Sorgo e 7 híbridos de milho comerciais.

Foram avaliadas as seguintes características:

Produtividade de grãos de cada híbrido nos ambientes com (PGs) e sem restrição hídrica (PGp),

a média de produtividade de grãos no ambiente com restrição (PGms) e sem restrição hídrica (PGmp). A produtividade foi obtida em gramas por parcela e posteriormente transformada em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a 13% de umidade, através da expressão:

$$PG = PP \times \left( \frac{10000}{AU} \right) \times \left( \frac{100 - U}{87} \right)$$

Onde:

PG: +, a 13% de umidade.

PP: peso de grãos em gramas por parcela.

AU: área útil da parcela, em  $\text{m}^2$ .

U: umidade dos grãos no momento da colheita, em %.

Florescimento maculino (FM): valores referentes à dias após a emergência, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com pendões liberando pólen.

Florescimento feminino (FF): valores referentes à dias após a emergência, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com estilo-estigmas visíveis nas espigas.

Altura de planta (AP): altura média de cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a lígula da folha bandeira.

Altura de espiga (AE): altura média de inserção de espigas em cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a inserção da espiga superior da planta.

Os índices de tolerância ao estresse hídrico obtidos foram:

Índice de susceptibilidade à seca (ISS), segundo Fischer & Maurer (1978), através da expressão:

$$ISS = \frac{(1 - PGs/PGp)}{(1 - PGms/PGmp)}$$

Tolerância ao estresse hídrico (TOL), segundo Rosielle & Hamblin (1981), através da expressão:

$$TOL = PGp - PGs$$

Coefficiente de resistência à seca (CS), segundo Blum (1984), através da expressão:

$$CS = PGs/PGp$$

Índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), segundo Lan (1990), através da expressão:

$$IRS = PGs \times \left( \frac{PGs/PGp}{PGms} \right)$$

Índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS), segundo Fernandez (1992), através da expressão:

$$ITS = (PGp/PGmp) \times \left( \frac{PGs/PGms}{PGms/PGmp} \right)$$

Média harmônica (MH), segundo Sio-Se Mardeh et al. (2006), através da expressão:

$$MH = 2 \times \left( \frac{PGp \times PGs}{PGp + PGs} \right)$$

O delineamento experimental utilizado foi o látice quadrado com seis tratamentos comuns (1I953, 1J1203, 2B707, 3H842, BRS1055 e 1J1132), com 4 repetições, sendo a repetição 3 uma duplicata da repetição 1 e a repetição 4 uma duplicata da repetição 2.

Inicialmente realizou-se as análises de variâncias

individuais. Após a verificação da homogeneidade das variâncias pela razão dos quadrados médios, realizou-se a análise de variância conjunta considerando os ambientes com (A1) e sem restrição hídrica (A2).

Para as características PGs, PGp, PGm, FM, FF, AP e AE, as médias foram avaliadas pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Foram estabelecidas análises de correlações de Spearman entre as características PGs, PGp, PGm e os índices de tolerância ao estresse hídrico ISS, TOL, CS, IRS, ITS e MH.

As análises estatísticas foram realizadas através do software estatístico R (R DEVELOPMENT, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa entre os híbridos para todas as características avaliadas.

Na interação híbridos x ambientes, foi observada diferença significativa para todas as características avaliadas, inferindo que os híbridos avaliados tiveram uma performance diferente nos ambientes A1 e A2.

Para o ambiente A1, os híbridos com maiores PG foram 86, 71, 67, 63, 32, 15, 14, 12, 6 e 3. A PG neste ambiente variou entre 2199,58  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e 7032,11  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  com PG média de 4606,45  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . (**Tabela 1**). Esses híbridos apresentaram potencial para serem utilizados em ambientes com baixa disponibilidade hídrica.

Para o ambiente A2, os híbridos que apresentaram maiores PG foram 86, 84, 78, 53, 11, 8, 7, 5, 3 e 2, com PG acima de 10000,00  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Neste ambiente, a PG variou entre 5000,01  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e 12186,03  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , com produtividade média de 8532,04  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Para a característica FM, foram observados valores entre 61 dias (híbridos 1, 68 e 81) e 70 dias (híbrido 27) no ambiente A1. No ambiente A2, os valores variaram entre 59 dias (híbridos 36, 37, 49 e 79) e 68 dias (híbrido 14).

Para a característica FF, foram observados valores entre 64 dias (híbrido 81) e 70 dias (híbridos 27 e 52) no ambiente A1. No ambiente A2, foram observados valores entre 58 (híbrido 79) e 68 (híbridos 14).

Para a característica AP, foram observados valores entre 1,88m (híbrido 51) a 2,65m (híbrido 3) no ambiente A1, com altura média de 2,28m. Para o ambiente A2, foram observados valores entre 2,10m (híbridos 42 e 81) a 2,75m (híbridos 3 e 84), com altura média de 2,43m (Tabela 3).

Para a característica AE, foram observados valores entre 0,90m (híbrido 42) a 1,58m (híbrido 14) no ambiente A1 e 1,00m (híbridos 55 e 72) a 1,65m (híbrido 86) no ambiente A2.

Para os índices ISS e TOL, menores valores indicam híbridos tolerantes ao déficit hídrico e selecionam mais eficientemente híbridos com

maiores produtividades em ambientes com restrição hídrica.

Para os índices CS, IRS, ITS e MH, maiores valores indicam híbridos tolerantes à restrição hídrica e apresentam maior eficiência em identificar híbridos superiores nos dois ambientes (HAO et al., 2011; JAFARI et al., 2009).

Nesta pesquisa, os valores encontrados variaram entre 3313,57 (híbrido 52) e 9241,93 (híbrido 86), para MH; entre 1298,02 (híbrido 36) e 7014,05 (híbrido 78), para TOL; entre 0,49 (híbrido 22) e 1,57 (híbrido 23), para ISS; entre 0,28 (híbrido 23) e 0,78 (híbridos 16 e 22), para CS; entre 0,16 (híbrido 52) e 1,14 (híbrido 6), para IRS; entre 0,21 (híbrido 52) e 1,30 (híbrido 86), para ITS (Tabela 5).

A análise do grau de associação entre características referentes a grupos de indivíduos pode ser realizada através de estimativas de correlação. Valores positivos indicam relação direta entre as características e valores negativos indicam relação inversa, variando de -1 a 1.

Foram observados elevados valores de correlação entre os índices de tolerância avaliados. Os maiores valores foram observados entre ISS e CS (-0,98) e entre ITS e MH (0,95) (Tabela 6).

De maneira geral, para a avaliação de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica, os índices ITS e MH podem ser utilizados eficientemente. Verificou-se que esses índices apresentaram alta correlação positiva e significativa com a PGs e PGP.

### CONCLUSÕES

Os híbridos 3 (11862), 6 (11923), 63 (11434) e 71 (11473) apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com restrição hídrica.

Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica.

### AGRADECIMENTOS

CAPES, FAPEMIG, CNPq, e à todos os membros do Grupo do Milho - UFLA.

### REFERÊNCIAS

BLUM, A. Breeding crop varieties for stress environments. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 2. p. 199–238. 1984.

COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US Corn-belt: Discovery to product. **Journal of Experimental Botany**. v. 65, p. 6191–6204. 2014.

FERNANDEZ, G. C. J. **Effective selection criteria for assessing stress tolerance**. In: KUO, C. G. (Ed.),

Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan. 1992. p. 257-270.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivar, I: Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**. v. 29, p. 897-912. 1978.

GAFFNEY, J. et al. Industry-scale evaluation of maize hybrids selected for increased yield in drought-stress conditions of the US corn belt, **Crop Science**, v. 55, p. 1608-1618. 2015.

HAO, Z. et al. Identification of functional genetic variations underlying drought tolerance in maize using SNP markers. **Plant Biology**. v. 53, p. 641–652, 2011.

JAFARI, A. et al. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays L.*) hybrids. **International Journal of Plant Production** v. 3. p. 124-131. 2009.

LAN, J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. **Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica**. v. 7. p. 85–87. 1998.

MIR, R. R. et al. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical Applied Genetics**. p. 125, 625–645. 2012.

MORADI, H. et al. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays L.*) new hybrids with using stress tolerance indices. **European Journal of Sustainable Development**. v. 1, p. 543-560. 2012.

PARENT, B. et al. Combining field performance with controlled environment plant imaging to identify the genetic control of growth and transpiration underlying yield response to water-deficit stress in wheat. **Journal of Experimental Botany**. v. 2. p. 1-12. 2015.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. 2011.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**. v. 21. p. 943-948. 1981.

SIO-SE MARDEH, A. et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crop Research**. v. 98. p. 222-229. 2006.

**Tabela 1** – Relação das características e índices avaliados com os híbridos de maiores produtividade de grãos (PG em kg.ha<sup>-1</sup>) em ambientes com restrição hídrica.

	3	6	12	14	15	32	63	67	71	86
<b>PG</b>	6388,99	6788,99	5903,22	6142,74	5946,20	6100,48	6133,37	5872,45	6118,07	7032,11
<b>FM</b>	64aA	62aA	66bA	68bA	63aA	63aA	63aA	66aA	64aA	65bA
<b>FF</b>	65bA	63aA	66cA	68dA	65bA	65bA	64bA	66cA	65bA	65bA
<b>AP</b>	2,65bA	2,48bA	2,38bA	2,63bA	2,55bA	2,35bA	2,20aA	2,45bA	2,33bA	2,63bA
<b>AE</b>	1,50bA	1,53bA	1,38bA	1,58bA	1,35bA	1,38bA	1,15aA	1,25aA	1,25aA	1,50bA
<b>ISS</b>	0,92b	0,54 <sup>a</sup>	0,68a	0,77a	0,80a	0,87b	0,55a	0,82a	0,53a	1,05b
<b>TOL</b>	4654,97	2244,14a	2851,00b	3323,78b	3589,22b	3989,68c	2081,64a	3557,20b	2060,26a	6473,68c
<b>CS</b>	0,58b	0,76 <sup>a</sup>	0,69b	0,65a	0,63a	0,61b	0,75a	0,63a	0,76a	0,52b
<b>IRS</b>	0,81 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>	0,88a	0,87a	0,82a	0,84a	1,00a	0,80a	1,00a	0,80a
<b>ITS</b>	0,97 <sup>a</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,72a	0,80a	0,78a	0,85a	0,69a	0,76a	0,70a	1,30a
<b>MH</b>	8080,28 <sup>a</sup>	7698,66a	7025,73a	7448,99a	7289,05a	7526,42a	7014,40a	7237,48a	6987,09a	9241,93a