

Controle e medição do estresse por restrição hídrica em genótipos de milho para a avaliação fenotípica de tolerância à seca em condições climáticas do Norte de Minas Gerais

Reinaldo Lúcio Gomide⁽¹⁾; Paulo Emílio Pereira de Albuquerque⁽¹⁾; Paulo Cesar Magalhães⁽¹⁾; Denis Pereira Ribeiro⁽²⁾; Gleidson Ferreira Domingos⁽²⁾; Arley Figueiredo Portugal⁽¹⁾; Edson Alves Bastos⁽³⁾.

⁽¹⁾ Pesquisadores; Embrapa Milho e Sorgo; Sete Lagoas, MG; reinaldo.gomide@embrapa.br; ⁽²⁾ Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Montes Claros; ⁽³⁾ Pesquisador; Embrapa Meio Norte.

RESUMO: O processo de caracterização do ambiente e da deficiência hídrica, do sítio específico de Janaúba, no Norte de Minas Gerais, envolveu a utilização de equipamentos e sensores que possibilitaram medir, registrar e/ou controlar os principais parâmetros ambientais relacionados a solos e condições microclimáticas, o uso e manejo da água de irrigação, o conteúdo de umidade no perfil do solo, na região de desenvolvimento radicular das plantas e também o status de água nas plantas. A partir desses dados ambientais de solos e clima, de controle e uso de água de irrigação e de status hídrico de solos e de genótipos de plantas (milho), é que foram estabelecidas as formas de calibração e caracterização dos níveis de estresse hídrico para os trabalhos de tolerância à seca, os quais foram diferenciados e controlados em condições de campos (parcelas experimentais), constituindo o objetivo principal desse trabalho. Os resultados possibilitaram gerar conhecimento técnico-científico sobre o aprimoramento dos protocolos, métodos e técnicas de indução, controle e medição do estresse hídrico nos processos de adaptação e tolerância à seca de genótipos de milho, os quais permitirão identificar, desenvolver e disponibilizar novos materiais adaptados a condições adversas de seca.

Termos de indexação: caracterização ambiental, solo-água-planta-atmosfera, irrigação.

INTRODUÇÃO

Os estresses hídricos são considerados a principal fonte de instabilidade no rendimento de grãos de cereais e leguminosas em áreas tropicais. Sob condição de deficiência hídrica é desejável a avaliação e seleção de genótipos para um melhor entendimento a adaptação e tolerância desses genótipos às restrições de água, em busca de uma boa e estável produtividade das culturas. A seleção de genótipos tolerantes à seca requer uma boa caracterização da interação genótipos vs. ambiente.

Os objetivos desse trabalho foram descrever e estabelecer os protocolos de controle e medição do estresse por restrição hídrica em genótipos de milho para a avaliação fenotípica de tolerância à seca em condições climáticas do Norte de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos do Norte de Minas foram conduzidos no município de Nova Porteirinha, MG, (latitude 15°45'01 S, longitude 43°17'29 W e altitude 524,0 m), no campo experimental de Gortuba, da Embrapa Milho e Sorgo. Os valores médios anuais dos elementos do clima são: precipitação 873,5 mm, temperatura 24,7°C e umidade relativa do ar 65%. Segundo a classificação de Köppen, o clima típico é o Aw, isto é, de savana com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C. O solo representativo do local é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, epi-eutrófico (Albuquerque et al., 2005).

Para que o período de estresse por deficiência hídrica coincidissem com o período seco do Norte de Minas Gerais, dois experimentos foram conduzidos, um com o plantio realizado no dia 11 de maio de 2011 e outro em 15 de maio de 2012. Em ambos foi empregado um espaçamento de 0,7 m entre fileiras e 0,2 m entre plantas, totalizando uma população de 71,428 mil plantas por hectare. No plantio foram usados os híbridos de milho disponíveis no mercado, o DKB-390, 2B-707, BRS-1030 e BRS-1010, que são bastante promissores para utilização em regiões semiáridas. As variáveis climáticas de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e precipitação, para o período de cultivo dos híbridos, foram coletadas da Estação Meteorológica Automática, instalada próximo a área.

Nos dois ensaios, a adubação foi constituída de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16+Zn aplicado no sulco de plantio e 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio na primeira cobertura, aos 36 dias após plantio (DAP) e

45 kg ha⁻¹ de nitrogênio na segunda cobertura aos 43 DAP, ambas as aplicações na forma de uréia.

Foi utilizado sistema de irrigação localizado por gotejamento para irrigar os ensaios (**Figura 1**). A irrigação foi igual em todas as parcelas, até o estágio em que os genótipos dos híbridos apresentaram uma média de 14 folhas totalmente desenvolvidas. Após esse período, que ocorreu aproximadamente aos 61 dias após a semeadura (DAS), foram diferenciados os quatro regimes hídricos, e quando os grãos de milho apresentaram maturidade fisiológica, o que aconteceu em média aos 118 DAS, ocasião em que foram encerradas as irrigações.



Figura 1. Ilustração do sistema de irrigação localizado por gotejamento, utilizado para irrigar e diferenciar os regimes hídricos no Norte de Minas. As fotos acima mostram o filtro de linha e o hidrômetro, abaixo a esquerda o sistema de registros de ação rápida, usados para controle de água nas parcelas e a direita o tubo de acesso da sonda diviner, usada para medir umidade no perfil do solo.

Para as condições sem estresse hídrico, de cada genótipo estudado, a quantidade de água a ser aplicada na irrigação foi determinada com base na determinação da necessidade hídrica ou evapotranspiração máxima ou potencial da cultura (ETc), que foi determinada pelo método proposto por Allen et al. (1998), que preconiza primeiro a determinação da evapotranspiração de referência de cada genótipo (ETo) pela equação combinada de Penman-Monteith, fazendo uso de dados climáticos diários de superfície (precipitação, velocidade do vento, umidade relativa do ar, radiação solar, temperaturas máxima e mínima do ar), que foram obtidos da estação climática automática, instalada próxima aos ensaios. Além disso, foram usados os

coeficientes de cultura (K_c) para o milho de acordo com Doorenbos & Pruitt (1977) e Allen et al. (1998).

O controle da água de irrigação aplicada nos tratamentos sem o estresse hídrico (reposição integral da ETc) das culturas envolvidas foi baseado no balanço de água do solo diário, determinado através de uma planilha eletrônica (Albuquerque & Andrade, 2001). As lâminas de água a serem aplicadas nas irrigações de cada genótipo foram calculadas com base nesse balanço hídrico diário, determinado nessa planilha eletrônica, a partir da determinação das respectivas ETc's de cada genótipo. O delineamento estatístico dos experimentos foi o de parcelas subdivididas, com três repetições, tendo como parcelas quatro regimes hídricos e como subparcelas os quatro genótipos avaliados. Os quatro regimes hídricos utilizados foram R1 – Reposição de 100% da ETc; R2 – Reposição de 75% da ETc, R3 – Reposição de 50% da ETc e R4 – Reposição de 25% da ETc.

Realizou-se o monitoramento da umidade do solo utilizando uma sonda de capacitância Diviner 2000[®]. Em cada parcela de regime hídrico foram instalados seis tubos de acesso com 1 m de profundidade. As leituras de umidade, nos tubos de acesso, foram feitas a cada 0,1 m de profundidade, duas vezes por semana, a partir do início da aplicação dos tratamentos de regimes hídricos (**Figura 2**). Também foram usados sensores de resistência elétrica, blocos de gesso modelo MEA2176 (Australiano), que foram inseridos em tubos de PVC de ½ polegada de diâmetro para facilitar a sua inserção e instalação no solo nas profundidades adequadas para monitorar a umidade, que são mais adequados para uma faixa de tensão de 50 a 500 kPa.

Foram avaliadas as seguintes características agrônomicas que auxiliaram na fenotipagem para identificação de tolerância à seca: Intervalo entre florescimentos masculino e feminino (IFMF); Altura da planta (a determinação da altura média de planta foi realizada por ocasião do pleno florescimento pela medição do comprimento do colmo, da superfície do solo até a base da folha "bandeira", com o auxílio de régua graduada de madeira), sendo avaliadas duas plantas representativas da área útil de cada subparcela; Altura de espiga (a altura média de inserção de espiga foi obtida pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal com o colmo, em pleno florescimento), sendo consideradas as mesmas plantas utilizadas para a determinação da altura média de planta; Número de espigas por planta (obteve-se o número de espigas por planta pela razão entre o número de espigas colhidas e o número de plantas existentes na área útil da subparcela); Massa de cem grãos; e Produção/rendimento de grãos (para o cálculo da

massa de cem grãos e do rendimento de grãos, o peso dos grãos foi corrigido para 13% de umidade).



Figura 2. Sensores usados no monitoramento da umidade do solo, instalados em cada parcela de regime hídrico, sonda de capacitância Diviner 2000, com tubos de acesso de 1 m de profundidade (esquerda), e sensores de resistência elétrica, blocos de gesso modelo MEA2176 (Australiano), inseridos em tubos de PVC de ½ polegada de diâmetro (direita).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão apresentados os resultados das temperaturas máximas, mínimas e médias e umidade relativa média para os períodos dos dois ensaios experimentais de 2011 e 2012, para Nova Porteirinha, Norte de Minas. Observa-se que, no ensaio de 2011, a temperatura máxima manteve-se próxima aos 30 °C até aproximadamente 75 DAS, a partir daí houve um aumento na temperatura. A mínima foi sempre superior a 10 °C, com os maiores valores, ligeiramente superiores a 20 °C. A temperatura média esteve próxima dos 25 °C durante todo o experimento, sendo os maiores valores observados mais ao fim do período de cultivo.

Já no ensaio de 2012 (**Figura 3**) pode-se observar que a temperatura máxima se manteve próxima aos 33 °C, ocorrendo picos de temperaturas mais frequentes após 88 DAS, alcançando a temperatura máxima de 39 °C. A mínima foi sempre superior aos 12 °C, com maior valor ligeiramente superior aos 25 °C. A temperatura média esteve próxima aos 26°C ao decorrer do experimento, sendo os maiores valores observados próximos ao fim do cultivo.

Para os resultados de umidade relativa do ar (UR) de 2012, observa-se que os valores máximos ocorreram 0, 35, 73, 94 e 127 DAS, enquanto os mínimos ocorreram aos 60, 104 e 113 DAS. Quanto mais baixa a umidade do ar circundante, mais rapidamente se dá a transpiração na planta e isso é um fator importante a ser analisado, pois quanto maior a transpiração maior é a necessidade de reposição de água pela planta.

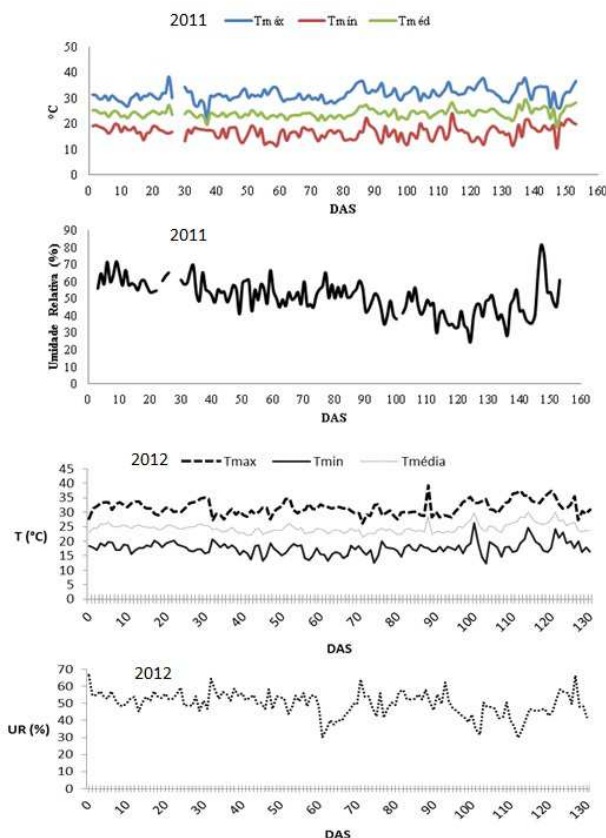


Figura 3. Variação de temperatura do ar (°C) máxima (Tmáx), mínima (Tmín) e média (Tméd) e umidade relativa do ar (UR) (%) média durante os períodos dos dois ensaios experimentais 2011 e 2012 em Nova Porteirinha no Norte de Minas. (DAS – Dias após a semeadura).

Não houve precipitações no período do ensaio experimental de 2011. Com isso, a umidade do solo foi definida exclusivamente pelas lâminas de irrigação aplicadas de acordo com os regimes hídricos. Já para o ensaio de 2012 ocorreu apenas uma chuva de 0,7 mm no mês de setembro, porém, isso não influenciou significativamente na medição da umidade do solo. Ao decorrer do experimento de 2012, como não ocorreram mais chuvas, a umidade do solo foi definida exclusivamente pelas lâminas de irrigação aplicadas de acordo com os regimes hídricos.

A Variação dos teores de umidade do solo obtidos pela sonda de capacitância Diviner 2000®, durante o período de avaliação experimental de 2011 encontram-se na Figura 4, para os regimes hídricos avaliados a diferentes profundidades do perfil do solo. Observa-se na Figura 4 que a umidade do solo foi diferente entre os regimes hídricos na camada de 0 a 20 cm de profundidade. A diferença inicial, nesta profundidade, pode ser explicada pelo fato de que a primeira leitura da

sonda foi realizada após 3 dias da diferenciação dos tratamentos regimes hídricos.

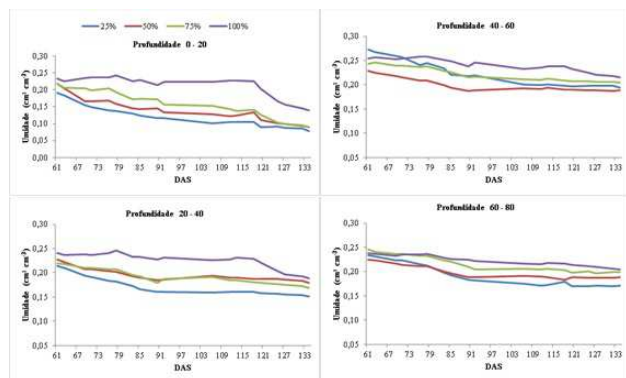


Figura 4. Variação da umidade do solo nas parcelas com diferentes regimes hídricos (25 a 100% de reposição da ETc), obtida pela sonda de capacitância Diviner 2000® em diferentes profundidades (cm), durante o período de avaliação experimental de 2011 em Nova Porteirinha, Norte de Minas. (DAS – Dias após a semeadura).

Para as demais profundidades, a diferenciação da umidade do solo foi mais lenta. Na profundidade de 20 a 40 cm, o comportamento de variação da umidade dos regimes de 50 e 75% da ETc foi muito semelhante. Na profundidade de 40 a 60 cm, a menor umidade foi observada para o tratamento de reposição de 50% da ETc, e os tratamentos de 25% e 75% de reposição foram muito semelhantes. Na profundidade de 60 a 80 cm, as diferenças de umidade, apesar da demora em se diferenciar, foram observadas aos 80 DAS. Observa-se nos gráficos das menores profundidades a tendência da umidade diminuir a partir do 118º DAS, quando foi identificada a maturidade fisiológica dos grãos, e a irrigação foi encerrada.

Os resultados de altura de planta, altura de inserção da espiga, número de espigas por planta, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e o intervalo entre florescimento masculino e feminino observado e transformado, dos híbridos de milho avaliados no ensaio de 2011, estão apresentados na Tabela 1. Para todas essas variáveis houve diferença significativa ($p > 0,01$ e para número de espigas por planta $p > 0,05$) entre os genótipos. Os resultados indicam que os genótipos DKB-390 e 2B-707 apresentaram as maiores alturas de plantas. O DKB-390 apresentou também maior altura de inserção da espiga, não diferindo do BRS-1030 que por sua vez não diferiu do 2B-707 e BRS-1010. Como as condições climáticas foram as mesmas para todos os híbridos avaliados, as diferenças nas características de altura de planta e altura de

inserção da espiga podem ser atribuídas ao fator genótipo. Com relação à massa de 100 grãos, os resultados do presente trabalho variaram de 32,79 a 23,61 g, sendo o menor resultado encontrado para o híbrido 2B-707. Os maiores rendimentos de grãos foram observados para os híbridos DKB-390 e 2B-707, apesar desse último ter apresentado a menor massa de 100 grãos, o seu rendimento foi compensado pelo maior número de espigas por planta e provavelmente, maior quantidade de grãos por espiga.

Tabela 1 - Resultados de altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AE), número de espigas por planta (NEP), massa de cem grãos (MCG), rendimento de grãos (RG), intervalo entre florescimento masculino e feminino observado (IFMF observado) e transformado (IFMF $\sqrt{Y+1}$) para os quatro genótipos avaliados.

Genótipo	AP	AE	NEP	MCG	RG	IFMF observado	IFMF $\sqrt{Y+1}$
m.....			...g...	...kg ha ⁻¹dias.....	
DKB-390	2,64 a	1,63 a	0,98 ab	32,79 a	9338,67 a	-4,01 a	-2,24 a
2B-707	2,65 a	1,45 b	0,99 a	23,61 b	8851,92 ab	-2,14 b	-1,77 b
BRS-1030	2,55 b	1,53 ab	0,97 ab	31,32 a	8332,50 b	-0,93 bc	-1,39 bc
BRS-1010	2,54 b	1,47 b	0,95 b	31,47 a	8039,00 b	0,71 c	1,31 c
CV (%)	2,52	6,82	3,28	5,33	7,40	26,30	26,30

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

A Figura 5 mostra a variação de rendimento de grãos dos híbridos de milho DKB-390, 2B-707, BRS-1030 e BRS-1010, cultivados sob quatro regimes hídricos. Observa-se que o rendimento de grãos variou de 7.021,6 kg ha⁻¹ para o regime hídrico de reposição de 25% da ETc a 10.259,5 kg ha⁻¹ para o regime hídrico de reposição de 100% da ETc.

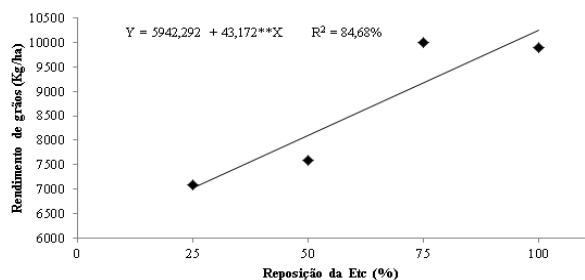


Figura 5. Valores observados (♦) e estimados (—) de rendimento de grãos dos híbridos de milho DKB-390, 2B-707, BRS-1030 e BRS-1010 cultivados sob quatro regimes hídricos. ** significativo a 1% pelo teste F.

O rendimento de grãos é influenciado pelos mesmos mecanismos fisiológicos apresentados para a massa de 100 grãos e ainda pode ser influenciada pelo abortamento de grãos, quando o estresse ocorre no período de enchimento de grãos

e menor diferenciação de tecidos reprodutivos, quando o estresse ocorre durante a diferenciação celular da fase reprodutiva, que gera menor densidade de óvulos viáveis por planta e conseqüentemente menor número de grãos por planta.

Apesar do ajuste linear, observa-se que, o rendimento de grãos para o regime hídrico de 75% da reposição da ETc apresentou média tão alta quanto a observada no regime hídrico de 100% de reposição (Figura 9). Com isso, é necessária uma análise mais aprofundada para esse intervalo de reposição da ETc, buscando-se o ponto de máxima eficiência econômica, pois a maior produtividade no regime com reposição total da ETc pode não ser tão viável devido ao maior consumo de água.

CONCLUSÕES

O controle e medição do estresse por restrição hídrica em genótipos de milho permitiu o estabelecimento de relação entre a quantidade de água aplicada na irrigação e o nível de esgotamento de água no solo, na fase pré-florescimento, para a avaliação fenotípica de tolerância à seca, em condições climáticas do Norte de Minas Gerais, com reposição diferenciada de ETc (regimes hídricos) e medições dos níveis de esgotamento de água no perfil do solo.

Os híbridos DKB-390 e 2B-707 apresentam os maiores rendimentos de grãos no ensaio de 2011. Contudo, como também apresentam os maiores intervalos entre o florescimento masculino e feminino, recomenda-se um estudo isolado desses híbridos para se constatar o potencial produtivo dos mesmos na região. Não foi verificada diferença de comportamento entre os híbridos DKB-390, 2B-707, BRS-1030 e BRS-1010 em condição de estresse ou conforto hídrico.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da Fapemig para a apresentação desse trabalho no XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; GOMIDE, R. L.; ANDRADE, C. De L. T. De; VIANA, J. H. M.; DURAES, F. O. M. Caracterização do solo do sítio-específico de Janaúba para estudos de fenotipagem

de cereais tolerantes a seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte. **Inovação para sistemas integrados de produção:** resumos. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 100.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; GOMIDE, R. L.; ANDRADE, C. de L. T. de; VIANA, J. H. M.; DURAES, F. O. M. Caracterização climática do sítio-específico de Janaúba para a fenotipagem de cereais visando estudos de tolerância à seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte. **Inovação para sistemas integrados de produção:** resumos. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 97.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage, 56).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Roma: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and drainage, 24).



XXX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

"Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global"