

Características morfológicas de sorgo sacarino BRS 501 em deficit hídrico

Morphological characteristics of BRS 501 sweet sorghum under water stress

Luciano Rezende Moreira*
Jardécio Damião Carvalho Ervilha**
Juliana Gonçalves Vidigal***
Glauco Vieira Miranda****

A cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] destaca-se das demais por tolerar tanto o deficit hídrico como o excesso de umidade no solo, em situações ambientais muito secas e/ou muito quentes, nas quais a produtividade de outros cereais torna-se antieconômica. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da irrigação na conformação radicular na fase inicial de desenvolvimento do sorgo sacarino. Nesse propósito, foi utilizada a cultivar BRS 501 submetida a quatro níveis de irrigação que se basearam em 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade de campo (CC). A diminuição na disponibilidade de água no solo influenciou negativamente a maioria das características avaliadas com exceção da relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), diâmetro médio de raiz (DMR) e área radicular específica (ARE). Concluiu-se que o crescimento das plantas de sorgo sacarino é sensível à diminuição de água no solo, sendo afetado pela baixa disponibilidade hídrica. A metodologia utilizada, comum a outras culturas, adequa-se ao sorgo sacarino para estabelecer disponibilidades hídricas em estudos com a finalidade de discriminar cultivares tolerantes à seca.

Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] crop is distinguished from other crops for its tolerance to both water deficit and excess soil moisture, under very dry and/or very hot environmental situations in which the productivity of other cereals becomes uneconomical. This work was conducted to evaluate the effects of irrigation on root conformation at the initial development phase of sweet sorghum. So, BRS 501 cv. was subjected to four irrigation levels based on 80%, 60%, 40% and 20% of the field capacity (CC). The decreased availability of water in the soil negatively affected the majority of the characteristics under evaluation except for the relationship between the root system and the aerial part (SR/PA), average root diameter (DMR) and specific root area (ARE). We concluded that the growth of sweet sorghum plants under evaluation is sensible to the decrease of water in the soil, as it is affected by low water availability. This methodology, common to other crops, can be used for saccharine sorghum in order to establish hydric availabilities in new experiments to discriminate the drought-tolerant cultivars.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Deficit hídrico. Raiz. WinRhizo.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Water deficit. Root. WinRhizo.

* Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil. E-mail: lmoreira@iff.edu.br.

** Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Viçosa/MG – Brasil. E-mail: jardelcioervilha@gmail.com.

*** Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) *campus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ – Brasil. E-mail: jvidigal@iff.edu.br.

**** Doutor em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Ex-professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: glaucovmiranda@gmail.com.

1 Introdução

No Brasil, o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] tem despontado como alternativa para diversas regiões e é o quinto cereal mais importante do mundo ficando atrás apenas do trigo, milho, arroz e cevada (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009). A cultura adapta-se a ambientes variados, principalmente com deficiência hídrica e altas temperaturas (SANTOS et al., 2005). Essa característica permite-lhe desenvolver-se e expandir-se em regiões com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão.

Outra vantagem é que o sorgo apresenta alta eficiência no uso da água comparado a outras culturas da mesma família como, o milho e o trigo. Enquanto o trigo e o milho, respectivamente, necessitam de 500 e 370 quilos de água para produzir um quilo de matéria seca; o sorgo precisa de 330 quilos de água (MAGALHÃES et al., 2007).

A frequência e a intensidade do *deficit* hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial e vários estudos têm sido realizados com o objetivo de analisar as variáveis morfofisiológicas das plantas e sua habilidade em adaptar-se às condições de *deficit* hídrico durante o seu desenvolvimento (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Desse modo, a resposta das plantas ao potencial de água no solo tem sido estudada por muitos pesquisadores, mas de maneira geral o potencial de água no solo não indica as condições de excesso ou *deficit* de água na profundidade do solo explorada pelo sistema radicular das plantas (CARLESSO, 1995). Ritchie et al. (1990) fizeram ressalvas ao uso do potencial de água no solo para caracterizar a intensidade de ocorrência de *deficit* hídrico e propõem que as respostas fisiológicas e morfológicas das plantas ao *deficit* hídrico sejam avaliadas em decorrência da água disponível no solo.

Mesmo com significativa publicação científica acerca de efeitos quantitativos do *deficit* hídrico sobre a cultura do sorgo, existem poucos registros sobre a quantificação das respostas e mesmo sobre o estudo morfológico das raízes em face de diferentes intensidades de seca.

Em condições limitantes de água é necessário conhecer a resposta do cultivo em relação ao fornecimento variável de água e determinar o consumo deste em suas distintas etapas fenológicas para definir as estratégias que minimizem as perdas de rendimento do cultivo (GONZÁLEZ; MERELO, 1999).

A amplitude dos efeitos do *deficit* hídrico nas plantas vai depender, portanto, da sua duração e intensidade, bem como da capacidade genética das espécies ou cultivares em responder às mudanças do ambiente (CHAVES et al., 2002).

Entre as cultivares de sorgo são grandes as diferenças em relação à reação e ao desempenho sob condições de estresse hídrico (TARDIN et al., 2008). A cultivar BRS 501 é representativa do cultivo do sorgo sacarino no Brasil, portanto sua utilização servirá como referência para avaliar o efeito de diferentes disponibilidades de água no solo para outras cultivares.

O objetivo foi avaliar os níveis de água disponíveis no solo capazes de promover o *deficit* hídrico para se discriminar cultivares tolerantes à seca, bem

como avaliar os efeitos da irrigação na morfologia da planta e conformação radicular na fase inicial de desenvolvimento do sorgo.

2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Programa Milho[®], localizada no *campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no estado de Minas Gerais. As análises morfológicas da parte aérea e do sistema radicular das plantas estenderam-se pelos meses de março e abril, também nas dependências do Programa Milho[®]. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com três repetições. Cada vaso contendo uma planta foi considerado uma unidade experimental.

Foram utilizadas sementes de sorgo sacarino da cultivar BRS 501, cedidas pela Embrapa Milho e Sorgo, as quais foram semeadas em vasos plásticos com capacidade para oito litros. Quatro dias após a emergência, foi feito o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso.

Utilizaram-se 50% de solo de textura argilosa e 50% de areia como substrato, devidamente homogeneizado. Pesou-se e distribuiu-se a mesma quantidade de substrato para todos os vasos.

Os tratamentos consistiram de quatro níveis de água no solo: 80% da capacidade de campo (80% CC), 60% da capacidade de campo (60% CC), 40% da capacidade de campo (40% CC) e 20% da capacidade de campo (20% CC).

Segundo a metodologia descrita por Nascimento (2008), a capacidade de campo do solo foi determinada com base na prática de saturar uma quantidade conhecida de solo seco e deixar drenar o excesso de água durante um período determinado. A umidade retida pelo solo nessas condições correspondeu à sua capacidade de campo.

Para isto, adicionou-se água ao substrato seco, deixando-se em repouso no vaso por um período de 24 horas ao abrigo da evaporação. Em seguida o vaso foi pesado e os tratamentos foram determinados tomando-se por base 100% da capacidade de campo.

Os vasos foram pesados diariamente e a água foi adicionada conforme a necessidade para a manutenção dos tratamentos. Até os 14 dias após a semeadura, todos os vasos foram mantidos sem *deficit* hídrico, para assegurar um bom desenvolvimento inicial das plantas.

O experimento foi mantido até 30 dias após a germinação das sementes até a quarta folha completamente expandida. Foram coletados os seguintes dados: massa seca da parte aérea (MSPA), relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), altura de planta, diâmetro de colmo, diâmetro médio de raiz (DMR), área radicular específica (ARE), comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT) e volume de raízes axiais (VRAXI).

A altura das plantas foi determinada com o auxílio de uma régua graduada e para se determinar o diâmetro de caule utilizou-se um paquímetro. O sistema radicular foi

avaliado pela análise de imagens, utilizando o software WinRhizo Pro 2009a (Basic, Reg, Pro & Arabidopsis for Root Measurement) acoplado a um scanner EPSON *Perfection V700/V750* equipado com luz adicional (TPU), com definição de 400 dpi (pontos por polegada), como descrito por Bauhus & Messier (1999) e Bouma et al. (2000), obtendo-se, assim, os comprimentos de raízes laterais e axiais.

Os comprimentos das raízes laterais e axiais foram extraídos do total das classes de diâmetro, obtidas pelo WinRhizo, sendo comprimento das laterais - CRL ($\Phi \leq 0,5$ mm) e das axiais - CRA ($\Phi > 0,5$ mm), conforme Trachsel et al. (2009). Para determinação da massa seca, as partes da planta foram colocadas em estufa, com fluxo de ar quente, a 70 °C por quatro dias. A massa seca foi determinada com auxílio de uma balança digital.

As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System - SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.1. 2003. A avaliação dos dados foi feita a partir dos resultados da avaliação de 3 (três) repetições para 4 (quatro) tratamentos (níveis de irrigação), perfazendo 12 (doze) unidades experimentais. Os dados foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os resultados interpretados por meio de análise de variância e regressão, utilizando o teste F ao nível de 5% de probabilidade.

3 Resultados e discussão

A análise de variância para todas as características avaliadas é apresentada na Tabela 1. A diminuição na disponibilidade de água no solo influenciou negativamente ($P < 0,05$) a maioria das características avaliadas, exceto para a relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), diâmetro médio de raiz (DMR) e área radicular específica (ARE). Portanto, as características massa seca da parte aérea (MSPA), altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT) e volume de raízes axiais (VRAXI), foram diferentes ($P < 0,05$) nos distintos tratamentos utilizados (Tabela 1).

Características morfológicas também foram influenciadas de forma negativa pelo decréscimo da irrigação em estudos desenvolvidos por Barreto et al. (2001) com *Pennisetum purpureum* e por Dias Filho et al. (1989) em *Panicum maximum*.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para os caracteres massa seca da parte aérea (MSPA), relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), altura de planta, diâmetro de colmo, diâmetro médio de raiz, área radicular específica (ARE), comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT) e volume de raízes axiais (VRAXI)

F.V.	G.L.	Q.M.									
		MSPA (g)	SR/PA	Altura (cm)	Diâmetro Colmo (cm)	Diâmetro Med. Raiz (mm)	ARE (cm ² /g)	CRLAT (m)	CRAXI (m)	VRLAT (cm ³)	VRAXI (cm ³)
AMBIENTE	3	71,5912*	0,0169 ^{ns}	614,5278*	62,6386*	0,0019 ^{ns}	218442,250 ^{ns}	33723,5332*	1420,0254*	59,0003*	2459,3631*
RESÍDUO	8	4,2132	0,0057	32,3333	4,5317	0,0027	122750,325	1542,4502	25,4096	1,8501	127,9515

* significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Resumo da Análise de Regressão para os caracteres MSPA, altura de planta, diâmetro de colmo, CRLAT, CRAXI, VRLAT e VRAXI: (a) Modelo de 1° Grau; (b) Modelo de 2° Grau Incompleto

(a) Modelo – 1° Grau									
F.V.	G.L.	Q.M.							
		MSPA	Altura (cm)	Diâmetro Colmo (cm)	CRLAT (m)	CRAXI (m)	VRLAT (cm ³)	VRAXI (cm ³)	
AMBIENTE	1	202,4374017*	1591,350000*	179,2281667*	87111,84067	3757,567207	152,2238960	6547,260313	
FAJ	2	6,1681117 ^{ns}	126,116667 ^{ns}	4,3438333 ^{ns}	7029,37948*	251,254430*	12,3884555*	415,414433 ^{ns}	
Erro Puro	8	4,2132083	32,333333	4,5316667	1542,4502	25,409525	1,8501457	127,951497	

(b) Modelo – 2° Grau Incompleto									
F.V.	G.L.	Q.M.							
		MSPA	Altura (cm)	Diâmetro Colmo (cm)	CRLAT (m)	CRAXI (m)	VRLAT (cm ³)	VRAXI (cm ³)	
AMBIENTE ²	1				94287,67858 *	4092,498915 *	164,7311308 *		
FAJ	2				3441,46053 ^{ns}	83,788576 ^{ns}	6,1348381 ^{ns}		
Erro Puro	8				1542,4502	25,409525	1,8501457		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Bergamaschi et al. (2006), o *deficit* hídrico interfere em quase todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas. A limitação hídrica pode reduzir a área foliar devido à inibição do crescimento ou pela senescência das folhas; redução na fotossíntese em decorrência da diminuição da área foliar, murchamento, enrolamento de folhas e fechamento dos estômatos e afeta vários outros processos, tais como a brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos.

A redução da expansão celular, inerente da menor pressão de turgor resultante do *deficit* hídrico, diminui a área foliar da planta e conseqüentemente reduz o índice de área foliar (IAF), definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada. O IAF tem relação com a capacidade fotossintética do vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO₂ e de interceptação de radiação (MULLER, 2005). Ainda de acordo com Craufurd et al. (1999), o *deficit* hídrico reduz a área foliar específica e a matéria seca total das plantas.

A diminuição da área foliar contribui desta forma, para o decréscimo total da matéria seca da parte aérea da planta que, associado a uma menor área radicular específica, resulta em uma equalização da razão entre massa do sistema radicular e parte aérea.

Fitter (2002) e Silva et al. (2007) relatam que raízes finas (até 2 mm) são responsáveis pela absorção de água e nutrientes e as raízes grossas responsáveis principalmente pela fixação da planta ao solo. Outros estudos têm revelado mudanças anatômicas e morfológicas em plantas frente ao incremento hídrico (JACKSON, 2008; VODNIK, 2009) e, enquanto a biomassa radicular determina o custo associado à construção e manutenção, o comprimento de raízes determina a capacidade de adquirir água e nutrientes (BOUMA et al., 2000), relativizando, assim, uma possível diferenciação significativa na área radicular específica nos diferentes níveis de irrigação, comprovado pela alta plasticidade fenotípica da planta (MARSCHNER, 1995).

Outro aspecto importante a ser considerado é o aumento da resistência do solo ocasionado pela seca, o que reduz ou até cessa o desenvolvimento radicular dependendo da espécie (BEULTER; CENTURION, 2003). Entretanto, o aumento da resistência mecânica do solo à penetração pode estimular a proliferação de raízes laterais (Figura 2), as quais são mais finas e capazes de crescer em poros do solo de diâmetro reduzido (RUSSEL; GOSS, 1974). Assim sendo, pode haver uma compensação na área radicular específica (ARE).

Gahoonia e Nielsen (2004) relataram que, possivelmente devido à dificuldade de avaliação, há poucos trabalhos que apresentam medidas de DMR e, ainda de acordo com esses autores, trata-se de uma característica mais relacionada à aquisição de nutrientes, que o comprimento de raiz (SCHROEDER; JANOS, 2005).

De acordo com Geraskis et al. (1975), o estresse hídrico pode aumentar a razão entre o sistema radicular e a parte aérea das plantas, supostamente devido ao fato de que a parte aérea da planta tende a crescer até que a absorção de água pelas raízes seja limitante, e inversamente, o sistema radicular tende a se desenvolver até que sua necessidade em fotoassimilados seja igual a quantidade que é produzida na parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2002).

A massa seca da parte aérea diferiu estatisticamente entre os distintos níveis de irrigação, apresentando redução na produção de matéria seca conforme a diminuição da disponibilidade hídrica (Figura 1). Valores semelhantes foram observados por Pinho (1992) em cultivares de sorgo e milho submetidos a uma condição de ponto de murcha permanente. Também o acúmulo de matéria seca da parte aérea na cultura do milho foi constatada por Costa et al. (2008) em menores níveis de estresse hídrico sendo que aquelas plantas submetidas ao estágio de ponto de murcha permanente obtiveram redução em torno de 50% dessa matéria seca, aos 35 dias após a germinação.

O comportamento da altura das plantas respondendo positivamente ao incremento da irrigação verificado neste trabalho (Figura 1) é corroborado por Peiter; Carlesso (1996), que constataram aumento no comprimento de entrenós com a maior fração da água disponível. De igual maneira, Chielle et al. (1984) verificaram que a redução na altura de sorgo sacarino ocorre em função da quantidade da água disponível no solo.

As médias dos diâmetros do colmo, em centímetros, obtidas na base das plantas, apresentaram diferenças significativas, o que pode ser visto na Figura 1, sendo que

diâmetros maiores são verificados nos tratamentos com as maiores disponibilidades hídricas. Tanaka (2010), avaliando diâmetros médios de caules de sorgo, verificou diferenças significativas nas médias, em plantas submetidas a diferentes níveis do lençol freático, sendo a menor média o tratamento exposto a uma situação de encharcamento, apesar de serem encontrados trabalhos mostrando aumento do diâmetro de raízes de outras espécies alagadas (VISSER et al., 1996).

Nascimento (2008) também observou que o diâmetro médio dos caules de sorgo foi influenciado de forma negativa pela diminuição na disponibilidade de água no solo. O diâmetro médio foi reduzido de 1,70 mm (maior disponibilidade de água no solo) para 1,29 mm (menor disponibilidade de água no solo), o que correspondeu a um decréscimo de 24%.

As raízes axiais, mais grossas e relacionadas, sobretudo, à sustentação da planta, absorvem pequenas quantidades de nutrientes e água (WILCOX et al., 2004). Portanto, o aumento no volume das raízes axiais em correspondência com maior disponibilidade hídrica oferecida à planta (Figura 1) é perfeitamente justificado. Rocha (2008) encontrou diferença significativa para a área de superfície de raízes grossas em ambientes de elevada disponibilidade de fósforo.

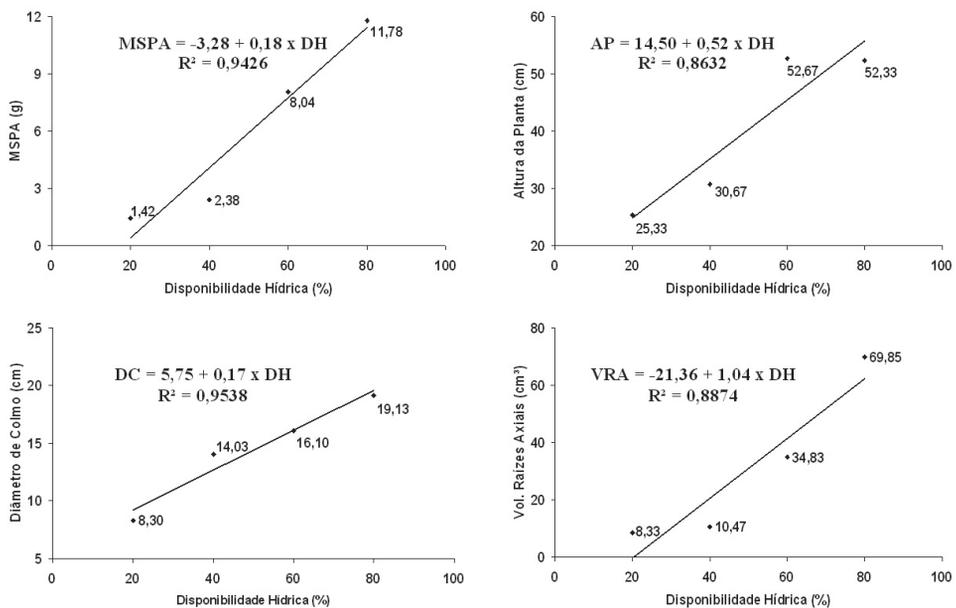


Figura 1 – Variação da massa seca da parte aérea (MSPA); da altura de planta; do diâmetro de colmo e do volume das raízes axiais, em função da disponibilidade hídrica

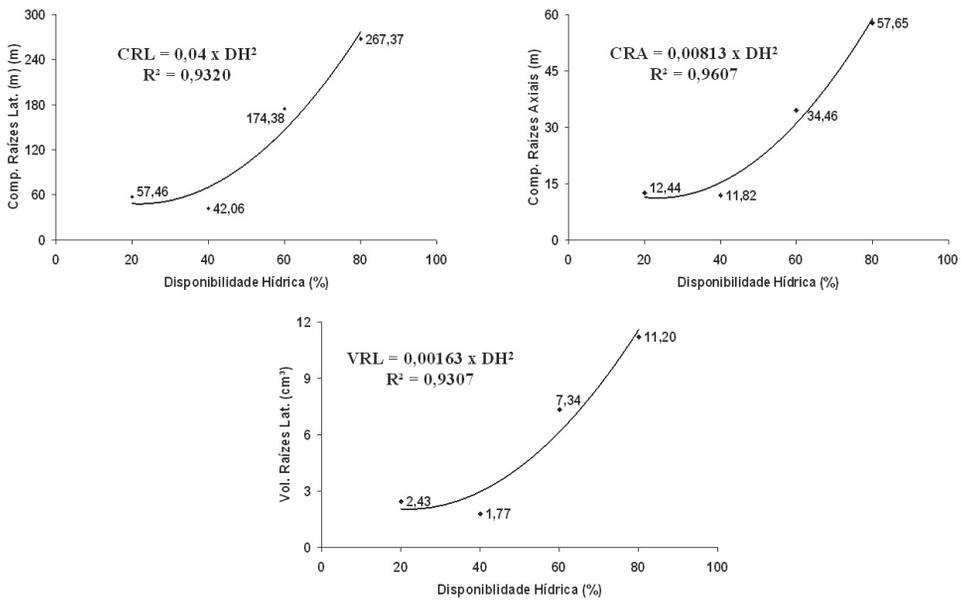


Figura 2 – Variação do comprimento de raízes laterais; do comprimento de raízes axiais e do volume de raízes laterais em função da disponibilidade hídrica

Por fim, sabendo-se a porcentagem de redução de massa seca da parte aérea que distingue plantas que sofrem *deficit* hídrico de plantas sob condições hídricas ótimas, é possível calcular o nível de disponibilidade de água no solo que irá imprimir *deficit* hídrico às plantas. Esse nível de disponibilidade de água no solo, capaz de impor *deficit* hídrico à cultura do sorgo sacarino, pode ser usado em novos experimentos para discriminação de cultivares resistentes ao *deficit* hídrico.

4 Conclusões

O crescimento das plantas de sorgo sacarino, representado neste estudo pela cultivar BRS 501, é sensível à diminuição de água no solo, sendo afetado pela baixa disponibilidade hídrica, como indica a maioria dos parâmetros avaliados: variação da massa seca da parte aérea, altura de planta, diâmetro de colmo, volume das raízes axiais, comprimento de raízes laterais, comprimento de raízes axiais e volume de raízes laterais em função da disponibilidade hídrica. A metodologia utilizada, comum a outras culturas, pode ser utilizada para sorgo sacarino para estabelecer disponibilidades hídricas em novos experimentos que tenham a finalidade de discriminar cultivares resistentes à seca.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio financeiro ao projeto.

Referências

- BARRETO, G. P.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos S.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. Avaliação de clones de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um híbrido com milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) submetidos a estresse hídrico - 1: parâmetros morfológicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-6, 2001.
- BAUHUS, J.; MESSIER, C. Soil exploitation strategies of fine roots in different tree species of the southern boreal forest of eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research - Revue Canadienne de Recherche Forestiere*, v. 29, n. 2, p. 260-273, 1999.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Water deficit and yield in maize crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, p. 243-249, 2006.
- BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, p. 849-856, 2003.
- BOUMA, T. J.; NIELSON, K. L.; KOUTSTAAL, B. A. S. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 218, n. 1/2, p. 185-196, 2000.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, Oxford, v. 89, p. 907-16, 2002.
- CHIELLE, Z. G.; CHIELLE, M. C. P.; SOARES, G. J. Efeito da irrigação em duas cultivares de sorgo sacarino e quatro densidades de plantio em solos de várzea. *Reunião Técnica Anual do Milho e Sorgo*, Pelotas, ABMS, 1984.
- COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N de; PARRY, M. N. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.
- CRAUFURD, P. Q. Effect of temperature and water deficit on water-use efficiency, carbon isotope discrimination, and specific leaf area in peanut. *Crop Science*, Madison, v. 39, n. 1, p.136-142, 1999.

- DIAS FILHO, M. B.; CORSI, M.; CUSATO, S. Respostas morfológicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatá ao estresse hídrico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 24, n. 7, p.893-898, jul. 1989.
- FITTER, A. H. Characteristics and functions of root systems. In: WEISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). *Plant roots: the hidden half*. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 15-32.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. *Manual da cultura do sorgo*. Jaboticabal: Funep, 2009.
- GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. *Plant and Soil*, The Hagues, v. 260, p. 47-57, 2004.
- GERASKIS, P.A.; GUERRERO, F.P.; WILLIAMS, W.A. Growth, water relations and nutrition of three grassland annuals as affected by drought. *The Journal of Applied Ecology*, v. 12, n. 1, p. 125-135, 1975.
- GONZÁLEZ, J. M. F.; MERELO, M. J. B. Respuesta del sorgo al deficit hídrico en invernadero. ITEA. *Producción Vegetal*, v. 95, n. 1, p. 41-66, 1999.
- JACKSON, M. B. Ethylene promoted elongation: an adaptation to submergence stress. *Annals of Botany*, London, v. 101, n. 2, p. 229-248, 2008.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. *Cultivo do Sorgo – Aspectos Gerais dos Efeitos Ambientais sobre o Crescimento do Sorgo*. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 2, Sete Lagoas. 2007. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/ambientais.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2011.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition in plants*. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MÜLLER, A. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. *Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABEAS*, v. 23, n. 1, p. 53-54, 2008.
- PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações da água disponível no solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 51-55, 1996.
- PINHO, J. L. N. de. *Étude comparée des mécanismes physiologiques de la résistance à la sécheresse de cultivars de mil (Penisetum americanum L.) et de sorgho [Sorghum bicolor (L) Moench] sensibles ou résistantes*. Tese (Doutorado) - Université Paris, 1992. vii, 158 p..
- RITCHIE, S. W.; NGUYEN, H. T.; HOLADAY, A. S. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, Madison, v. 30, p. 105-111, 1990.
- ROCHA, M. C. *Caracterização morfofisiológica radicular relacionada aos mecanismos de aquisição de fósforo em sorgo*. Dissertação (Mestrado) – UFV, Viçosa, 2008. 62 p.

- RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots the mechanical impedance. *Nether. J. Agric. Sci.*, v. 22, p. 305-318, 1974.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Deficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. *Melhoramento de espécies cultivadas*, Viçosa: Ed. UFV, 2005. p. 605-658.
- SAS INSTITUTE. *SAS/STAT software versão 9.1*. Cary. 2003.
- SCHROEDER, M. S.; JANOS, D. P. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. *Mycorrhiza*, Berlin, v. 15, p. 203-216, 2005.
- SILVA, A. C.; ROSADO, S. C. S.; CALEGARIO, N.; RODRIGUES, E. A. C.; OLIVEIRA, A. N.; VIEIRA, C. T. Variações genéticas na qualidade do sistema radicular de mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 609-617, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 757 p.
- TANAKA, A. A. *Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de lençol freático*. Dissertação (Mestrado) - UNESP, Botucatu. 2010. 64 p.
- TARDIN, F. D.; SANTOS, F. G.; RODRIGUES, J. A. S.; MAGALHÃES, J. V.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T.; QUEIROZ, L. R.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação de genótipos de sorgo submetidos ao estresse hídrico após seu florescimento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. ABMS, 2008.
- TRACHSEL, S.; MESSMER, R.; STAMO, P.; HUND, A. Mapping of QTLs for lateral and axile root growth of tropical maize. *Theor. Appl. Genet.*, v. 119, p. 1413-1424, 2009.
- VISSER, E. J. W.; BLOM, C. W. P. M.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding-induced adventitious rooting in Rumex, morphology and development in an ecological perspective. *Acta Botanica Neerlandica*, Amsterdam, v. 45, n. 1, p. 17-28, 1996.
- VODNIK, D.; STRAJNAR, P.; JEMC, S.; MACEK, I. Respiratory potential of maize (*Zea mays* L.) roots exposed to hypoxia. *Environmental and Experimental Botany*, Paris, v. 65, n. 1, p. 107-110, 2009.
- WILCOX, C. S.; FERGUSON, J. W.; FERNANDEZ, G. C. J.; NOWAK, R. S. Fine root growth dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. *Journal of Arid Environments*, v. 56, p. 129-148, 2004.

Artigo recebido em: 6 ago. 2015

Aceito para publicação em: 25 jul. 2016