

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS EM CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO

R. G. Vital¹, A. C. Costa², C. Müller³, L. M. de F. Moura⁴, P. F. Batista⁵, F. B. da Silva⁶

RESUMO: O Centro-Oeste do Brasil é a principal região produtora de soja. No entanto, períodos de baixa precipitação durante o desenvolvimento desta cultura tem sido intensificado nos últimos anos. Nesse sentido, a detecção de diferenças morfológicas de cultivares de soja quando submetidas ao déficit hídrico constitui importante mecanismo para a seleção de cultivares mais adaptativas para à região. O trabalho objetivou avaliar as características morfológicas de cultivares de soja submetidas ao estresse por déficit hídrico, em condições controladas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com duas cultivares de soja (7011 e 8473) e duas reposições hídricas (40 e 100% da capacidade campo), com cinco repetições. Os tratamentos foram impostos no estágio V4 de desenvolvimento, e mantidos por 8 dias. De modo geral, as variáveis morfológicas foram negativamente afetadas na cultivar 7011 sob déficit hídrico, permitindo caracterizar a cultivar como sensível ao estresse. A maioria das variáveis analisadas da cultivar 8473 não diferiram entre as reposições hídricas, indicando maior tolerância morfológica ao déficit hídrico. Dentre os caracteres avaliados, a área foliar, a massa seca da parte aérea e total e o volume radicular foram indicadores morfológicos importantes na seleção de cultivares de soja para o cultivo em ambientes com menor disponibilidade hídrica.

MORPHOLOGICAL CHANGES IN SOYBEAN CULTIVARS SUBJECTED TO WATER DEFICIT

ABSTRACT: The Central Region of Brazil is the main soybean producer. However, periods of low precipitation during the crop development has been intensified in recent years. In this sense, the detection of morphological changes of soybean cultivars when subjected to water deficit is an important mechanism for the selection of cultivars more adaptive to the region.

¹ Doutorando, Engenheiro Agrônomo, IF Goiano, Rodovia Sul goiana km 01, s/n, zona rural, CEP 75901-970 Rio Verde – Goiás. E-mail: roberto.agro.vital@gmail.com

² Doutor, Professor do IF Goiano, Rio Verde – Goiás.

³ Doutora, Pesquisadora do IF Goiano, Rio Verde – Goiás.

⁴ Doutoranda, Engenheira Agrônoma, IFGoiano, Rio Verde – Goiás.

⁵ Doutoranda, Bióloga, IFGoiano, Rio Verde – Goiás.

⁶ Doutoranda, Bióloga, ESALQ, Piracicaba – São Paulo.

Thus, this work aimed to evaluate the morphological traits of soybean commercial cultivars subjected to water deficit, under controlled conditions. The experimental design was a randomized block design with two soybean cultivars (7011 and 8473) and two water replenishments (40 and 100% of the field capacity), with five replications. Treatments were imposed when plants reached the V4 stage of development, and were maintained for a period of 8 days. The morphological variables were, in general, negatively affected in cultivar 7011 under water deficit, allowing to characterize the cultivar as sensitive to stress. In contrast, most of the analyzed variables for the cultivar 8473 did not differ between water replenishments, which indicate a greater morphological tolerance to the water deficit. Among the evaluated characters, leaf area, dry mass of shoot and total and root volume were important morphological indicators in the selection of soybean cultivars for crop production in regions with lower water availability.

KEY WORDS: water restriction, morphology, *Glycine max* (L.).

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycinemax*) é a principal leguminosa cultivada no mundo e a mais importante no mercado mundial (Siebers et al., 2015; Sentelhas et al., 2015). No Brasil, a região Centro-Oeste se destaca como a principal produtora nacional de soja (CONAB, 2016). Esta região possui duas estações bem definidas, uma seca, que ocorre de maio a setembro, e a chuvosa, de outubro a abril, com precipitação média de 200 e 1600 mm, respectivamente (Walter, 2006; Heinemann et al., 2016). No entanto, mesmo durante o período chuvoso, tem sido observado aumentos na ocorrência de períodos com precipitações abaixo da média, nos últimos anos (Alves & Marengo, 2010). Na safra de 2014/2015, por exemplo, cultivares de soja apresentaram perdas de 5% na sua produtividade em função da baixa precipitação (CONAB, 2015). Na safra seguinte (2015/2016) houve atraso no plantio devido a ocorrência de chuvas abaixo da média e alta temperatura em setembro e outubro, condições estas que afetaram negativamente o desenvolvimento e produtividade final da cultura (CONAB 2016). Estas alterações climáticas além de ser uma ameaça eminente a segurança alimentar, afetam diretamente a economia do Brasil (Ochuodho et al., 2016).

A maioria das plantas cultivadas são suscetíveis ao déficit hídrico, o qual promove alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas (Hossain et al., 2015). Inicialmente, a limitação hídrica reduz o potencial hídrico foliar, que induz o fechamento

estomático com decréscimo na absorção de CO₂ e, conseqüentemente diminuição na produção de fotoassimilados (Pinheiro & Chaves, 2011; Ping et al., 2015). Espécies tolerantes geralmente ativam mecanismos morfológicos e, ou fisiológicos que permitem explorar melhor a disponibilidade de água no solo, assim como aumentar a assimilação de CO₂ com menor perda de água possível, visando a manutenção da produtividade (Pinheiro et al., 2005). Dentre os mecanismos destacam-se a produção de sistemas radiculares profundos e densos e, a minimização da perda de água por regulação dos estômatos e redução da área foliar (Kramer & Boyer, 1995; Scaloni et al., 2011), associada à eficiência do uso da água. A redução do número de folhas, em plantas sob déficit hídrico, também tem sido considerada uma estratégia adaptativa para, além de diminuir a superfície transpirante e reduzir o gasto metabólico para a manutenção dos órgãos vegetativos (Inmanbamber et al., 2008; Anjum et al., 2011). Desta forma, torna-se altamente desejável a identificação de cultivares de soja capazes de minimizar os efeitos do déficit hídrico através do aumento da profundidade das raízes, da redução da expansão da área foliar e da manutenção do teor relativo de água para estabilização do seu crescimento durante o período de estresse.

Neste contexto, demonstra-se a utilização de análises morfológicas na avaliação do impacto do déficit hídrico em cultivares de soja é uma ferramenta prática e útil, a qual permite identificar características indicadoras desse estresse, além de contribuir na seleção de cultivares mais adaptativas à região Centro-Oeste. Essas informações são de grande valia, ainda, para programas de melhoramento que visam obter materiais vegetais mais tolerantes ao déficit hídrico e, ao mesmo tempo, mais produtivos no cenário de mudanças climáticas iminentes. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar as características morfológicas de cultivares comerciais de soja submetidas ao estresse por déficit hídrico, em condições controladas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, no Estado de Goiás, Brasil. Foram utilizados vasos de polietileno contendo 10 Kg de substrato preparado a partir de uma mistura solo e areia (2:1), com duas plantas de soja por vaso. Foram utilizadas plantas de duas cultivares de soja: NS 7011 IPRO (7011; Nidera, São Paulo – SP) e Desafio 8473 RSF (8473; Brasmax Sementes, Cambé - PR). A correção e adubação do substrato foi realizada com base na análise físico-química do substrato e recomendação para a cultura.

As plantas foram cultivadas em câmara de crescimento (Instalafrio, Pinhais, PR, Brasil), com umidade relativa de ~65%, irradiância de ~650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e, temperatura de 25°C. O

tratamento com déficit hídrico foi imposto no estágio V4 das cultivares de soja (Fehr&Caviness, 1977), pelo método gravimétrico mediante duas reposições hídricas no solo: com irrigação (100% da capacidade de campo, CC) e déficit hídrico (40% CC) e mantidos por um período de 8 dias. Durante o período de condução dos experimentos, os tratos culturais foram realizados sempre que necessário.

As avaliações biométricas foram realizadas após a imposição do estresse. As plantas foram mensuradas para a determinação das variáveis biométricas: altura da planta (H, cm), número de nós (NN), diâmetro de caule (DC, mm), número de folhas (NF) e volume da raiz (VR, mL). Posteriormente, folhas, caules e raízes foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa de circulação forçada de ar (65 °C), até peso constante para obtenção da massa seca das folhas (MSF, g), caules (MSC, g) e raízes (MSR, g). A partir desses dados foi possível obter a massa seca da parte aérea (MSPA) e calcular a relação MSPA/MSR. A área foliar (AF, cm²) foi calculada utilizando o software ImageJ.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso utilizando duas cultivares de soja e duas tensões hídrica, com 5 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$) por meio do Sistema de Análise de Variância (SISVAR – Versão 5.4).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cultivares 7011 e 8473 apresentaram alterações morfológicas distintas quando expostas ao déficit hídrico. A altura das plantas 7011 quando cultivadas sob déficit hídrico, reduziu em 22,4 % em comparação às plantas irrigadas (Figura 1A). O diâmetro do caule (DC) não foi influenciado pelo tratamento hídrico, mas foi significativamente menor na cultivar 7011 (~3,3 cm) em relação à cultivar 8473 (~4,3 cm) (Figura 1B). Segundo Ohashi et al., (2006), a expansão do DC é diretamente relacionada ao grau de abertura estomática e disponibilidade hídrica no solo. Os autores observaram uma redução na expansão do DC já nas primeiras 24 h após imposição da restrição hídrica, em plantas de soja, o que não foi observado neste trabalho. No entanto, a massa seca dos caules da cultivar 7011 foi reduzida em 31,1% quando exposta ao déficit hídrico (Figura 1C).

Assim, alterações nestas características influenciam diretamente nos padrões de desenvolvimento das cultivares, além de fornecer informações importantes exercidas pelo estresse (Cruz et al., 2010). O número de nós foi reduzido nas cultivares 7011 e 8473, em 15,3 e 8,0%, respectivamente, quando expostas ao déficit hídrico (Figura 1D). O número de nós

reflete diretamente na produtividade, visto que são regiões na planta onde são emitidas novas vagens (Mundstock & Thomas, 2005). Desclaux et al., (2000), ainda, observaram que em plantas de soja, quando expostas ao estresse hídrico, o comprimento médio de entrenós foi comprometido, afetando posteriormente o número de vagens.

O número de folhas (NF) foi relativamente similar entre as cultivares, independente da reposição hídrica (Figura 1E). No entanto, a área foliar (AF) (Figura 1F) e massa seca da parte aérea (MSF e MSPA, Figura 2A-B) foram reduzidas significativamente na cultivar 7011 em média, 45,9%, nas plantas exposta ao déficit hídrico. A folha é a principal órgão fotossinteticamente ativa, acumulando nutrientes e compostos orgânicos que serão posteriormente translocados para órgãos reprodutivos (Board & Modali, 2005). Alterações na estrutura e expansão foliar afetam diretamente os processos fotossintéticos e o acúmulo de biomassa, resultando em perdas de produtividade (Castro e Farias, 2005). O volume de raiz foi reduzido nas cultivares 7011 (51,1%) e 8473 (26,3%) (Figura 2C), o que promoveu uma diminuição em 37,0%, para ambas as cultivares, na MSR (Figura 2D) sob exposição ao déficit hídrico. Akýnci & Losel (2012) relataram que a restrição hídrica diminuiu drasticamente o alongamento da raiz e a expansão da área foliar em plantas de soja sensíveis.

Por outro lado, o estresse hídrico moderado tem sido descrito por redirecionar a alocação de carbono para o sistema radicular, em detrimento à parte aérea, para permitir a exploração de camadas de solo mais profundas com sistemas radiculares mais longos (Hasibeder et al., 2015), embora não tenha sido observado no presente trabalho. A cultivar 8473, mesmo sob restrição hídrica investiu no incremento da massa seca da parte aérea (MSPA/MSR, Figura 2E), em 28,6%, em relação às plantas irrigadas.

O aumento no acúmulo de massa seca total (MST) é um fator determinante na produtividade das culturas (Teodoro et al., 2015). Portanto, os dados observados neste estudo demonstram que a cultivar 7011 obteve menor acúmulo de MST, devido a limitação da disponibilidade de água no solo, comparado às plantas irrigadas (Figura 2F). Esse comportamento é reflexo principal da redução na expansão foliar e emissão de novas folhas em condições limitantes de água no solo (Fernández et al. 1996). Por lado, a cultivar 8473 foi mais tolerante ao estresse evidenciando valores de MST semelhantes às plantas controle, com potencial produtivo para tolerar o déficit hídrico e manter o crescimento durante curtos períodos de estresse. O maior acúmulo de MST ocorre em função da maior interceptação de radiação solar e partição de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, o que permite a maximização da produtividade (Board & Modali, 2005).

CONCLUSÕES

A cultivar Desafio 8473 RR apresentou maior tolerância morfológica ao déficit hídrico, em relação à cultivar 7011. Dentre os caracteres avaliados, a área foliar, a massa seca da parte aérea e total e o volume radicular são indicadores morfológicos importantes na seleção desta espécie para o cultivo em ambientes com menor disponibilidade hídrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (IFGoiano) pelo apoio financeiro nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKÝNCI, S.; LÖSEL, D.M. PlantWater-Stress Response Mechanisms. In: Rahman, I.M.M. and Hasegawa, H. Water Stress, InTech, Croatia, p.15-42, 2012.

ALVES, L.M.; MARENGO, J.A. Assessment of regional seasonal predictability using the precis regional climate modeling system over South America. Theoretical Applied Climatology. V.100, p.337–350, 2010.

ANJUM, S.A; FAROOQ. M.; WANG, L.C.; XUE, L.L.; WANG, S.G.; WANG, L.; ZHANG, S.; CHEN, M. Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously applied glycine betaine under drought conditions. Plant Soil Environmental, V.57, p.326–331, 2011.

BOARD, J. E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. Crop Science, V.45, n.1, p.1790-1799, 2005.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: Leite, R. M. V. B. C.; Brighrnti, A. M.; Castro, C. Girassol no Brasil. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, p.317-365, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira grãos. Acomp. Safra bras. Grãos - Safra 2014/15, Brasília, V.2, n.12, p.1-134,2016.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). Acompanhamento da safra brasileira grãos. Acomp. Safra bras. Grãos - Safra 2015/16, Brasília, V.3, n.9, p. 1-174, 2016.

CRUZ, M.B.; ALVES, P.L.C.A.; KARAM, D.; FERRAUDO, A.S. Capim-colonião e seus efeitos sobre o crescimento inicial de clones de *Eucalyptusurograndis*. CiênciaFlorestal, V.20, n.3, p.391-401, 2010.

DESCLAUX, D.; HUYNH, T.; ROUMET, P. Identification of the characteristics of the soybean plant that indicate the moment of drought stress. Crop Science, V.40, p.716-722, 2000.

FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. Crop Science, Madison, V.36, p.1224-1233, 1996.

HASIBEDER, R.; FUCHSLUEGER, L.; RICHTER, A.; BAHN, M. Summer drought alters carbon allocation to roots and root respiration in mountain grassland. New Phytologist, V.205, p.1117-1127, 2015.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; PESSOA, O. S.; THIAGO, L.; DIDONET, A. D.; DI STEFANO, J. G.; BOOTE, K. J.; JARVIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, V. 225, p. 57-74, 2016.

HOSSAIN, M. M.; LAM, M. D.; ZHANG, J. Responses in gas exchange and water status between drought-tolerant and -susceptible soybean genotypes with ABA application. The Crop Journals, V.3, p.500-506, 2015.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. Australian Journal of Agricultural Research, V.59, p.13-26, 2008.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. Evolution and agriculture. In: KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. (Eds.). Water relations of plants and soils. San Diego: Academic, p.377-404, 1995.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. Soja - Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Iglu, p.31, 2005.

OCHUODHO, T.O.; LANTZ, V.A.; OLALE, E. Economic impacts of climate change considering individual, additive, and simultaneous changes in forest and agriculture sectors in Canada: A dynamic, multi-regional CGE model analysis. Forest Policy and Economics, V.63, p. 43-51, 2016.

OHASHI, Y.; NAKAYAMA, N.; SANEOKA, H.; FUJITA, K. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum*, V.50, p.138-141, 2006.

PING, M.A.; TUAN-HUI, B, A.I.; FENG-WANG, M.A. Effects of progressive drought on photosynthesis and partitioning of absorbed light in apple trees. *Journal of Integrative Agriculture*, V.14, n.4, p.681-690, 2015.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, V.62, n.3, p.869-882, 2011.

PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffeacanephora*, *Annals of Botany*, V.96, p.101–108, 2005.

SCALON, S.P.Q.; MUSSURY, R.M.; MELLHO EUZÉBIO, V.L.; KODAMA, F.M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazumaulmifolia*Lam.). *Ciência Florestal*, V.21, n.4, p.655-662, 2011.

SENTELHAS, P.C., BATTISTI, R., CÂMARA, G.M.S., FARIAS, J.R.B., HAMPF, A.C., NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. *The Journal of Agricultural Science*, V.153, p.1394–1411, 2015.

SIEBERS, M.H.; YENDREK, C.R.; DRAG, D.; LOCKE, A.M.; ACOSTA, L.R.; LEAKEY, A.D.B.; AINSWORTH, E.A.; BERNACCHI, C.J.; ORT, D.R. Heat waves imposed during early pod development in soybean (*Glycine max*) cause significant yield loss despite a rapid recovery from oxidative stress. *Global Change Biology*, V.21, p.3114-3125, 2015.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORREA, C. C. G.; LUZ JUNIOR, R. A. A.; ZANUNCIO, A.; CAPRISTO, D. P.; TORRES, F. E. Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. *Bioscience Journal*, V.31, p.794-799, 2015.

WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília, Março 2006.

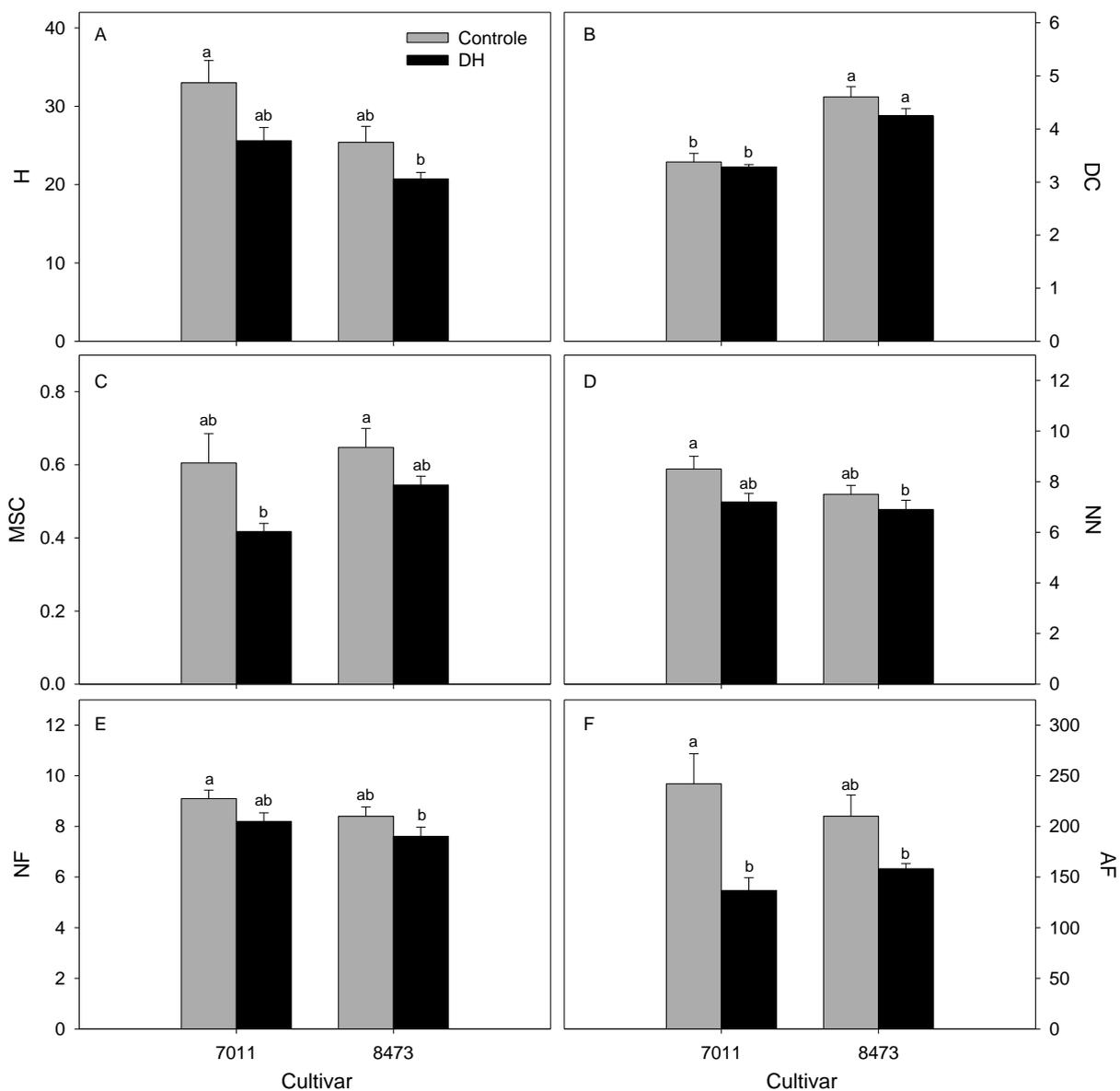


Figura 1. Altura de plantas (H, m), diâmetro do caule (DC, mm), massa seca do caule (MSC, g), número de nós (NN), número de folhas (NF) e área foliar (AF, m²) em plantas de soja irrigadas (100% CC) e sob déficit hídrico (40% CC) após 8 dias da imposição dos tratamentos. Barras representam média \pm EP ($n = 5$). Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

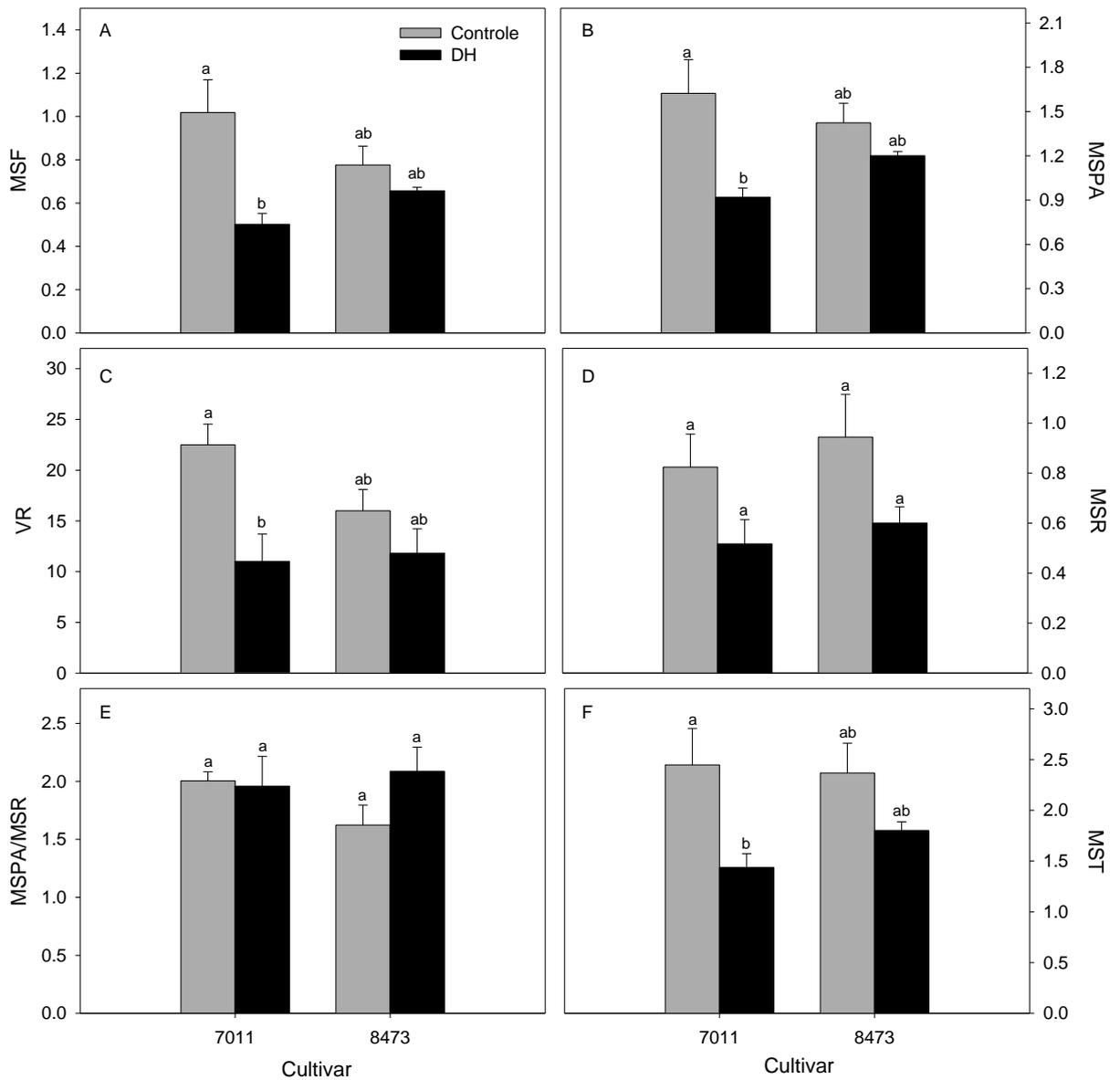


Figura 2. Massa seca de caule (MSC, g), massa seca da parte aérea (MSPA, g), volume de raiz (VR, mL), massa seca de raiz (MSR, g), massa seca total (MST, g) e razão massa seca da parte aérea e massa seca de raiz (MSPA/MSR, g) em plantas de soja irrigadas (100% CC) e sob déficit hídrico moderado (40% CC) após 8 dias da imposição dos tratamentos. Barras representam média ± EP (n = 5). Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).