

Respostas Fisiológicas de Genótipos de Capim-Elefante e Sorgo à Supressão Hídrica



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
136**

**Respostas Fisiológicas de Genótipos de
Capim-Elefante e Sorgo à Supressão Hídrica**

*Anderson Carlos Marafon
Victor dos Santos Guimarães
Hugo Leoncio Paiva
Jonas Paulino dos Santos*

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2018

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Avenida Beira Mar, nº 3250,
CEP 49025-040 , Aracaju, SE
Fone: +55 (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Ronaldo Souza Resende

Secretário-Executivo
Marcus Aurélio Soares Cruz

Membros
Amaury da Silva dos Santos
Ana da Silva Lédo
Anderson Carlos Marafon
Joézio Luiz dos Anjos
Julio Roberto Araujo de Amorim
Lizz Kezzy de Moraes
Luciana Marques de Carvalho
Tânia Valeska Medeiros Dantas
Viviane Talamini

Supervisão editorial
Flaviana Barbosa Sales

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Aline Gonçalves Moura

Foto da capa
Anderson Carlos Marafon

1ª edição
Publicação digitalizada (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Respostas fisiológicas de genótipos de capim-elefante e sorgo à supressão hídrica/
Anderson Carlos Marafon ... [et al.]. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros,
2018. 37 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Tabuleiros
Costeiros, ISSN 1678-1961; 139).

1. Capim-elefante. 2. Sorgo. 3. Forrageira. 4. Manejo. I. Marafon, Anderson
Carlos. II. Guimarães, Victor dos Santos. III. Paiva, Hugo Leoncio. IV.
Santos, Jonas Paulino dos. V. Série.

CDD 633.2 Ed. 21

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusões.....	33
Referências	33

Respostas Fisiológicas de Genótipos de Capim-Elefante e Sorgo à Supressão Hídrica

Anderson Carlos Marafon¹

Victor dos Santos Guimarães²

Hugo Leoncio Paiva³

Jonas Paulino dos Santos⁴

Resumo – O cultivo de espécies forrageiras como o de capim-elefante e o de sorgo em regiões com típica ocorrência de períodos de escassez hídrica, como o Agreste e os Tabuleiros Costeiros do Nordeste, representa uma importante atividade geradora de matéria-prima para a alimentação animal e/ou para fins energéticos. O objetivo deste trabalho foi identificar genótipos de capim-elefante e sorgo tolerantes ao estresse hídrico na fase de pleno crescimento, mediante a avaliação das trocas gasosas, da produção de biomassa e do desenvolvimento radicular de plantas submetidas à supressão hídrica. Dois genótipos de capim-elefante (BRS Capiçu e Madeira) e dois de sorgo forrageiro (SF 15 e BRS 716) foram submetidos a dois tratamentos: (1) controle (capacidade de campo) e (2) supressão de água por 16 dias, com posterior reidratação do solo. Durante este período foram determinadas as trocas gasosas (transpiração, condutância estomática e atividade fotossintética), através de um medidor compacto de trocas gasosas (IRGA). Ao final das avaliações foram quantificados os valores de biomassa seca de colmos, folhas e raízes, calculadas as relações folha:colmo (F:C) e parte aérea:raízes (PA:R) e obtidas imagens do sistema radicular através de um scanner de raízes. Os quatro genótipos sofreram reduções gradativas em suas taxas de transpiração, condutância estomática e fotossíntese devido à supressão hídrica, no entanto, apenas o genótipo de sorgo SF 15 demonstra capacidade de recuperar plenamente suas trocas gasosas após a reidratação do solo.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL

² Graduando em Agronomia, Maceió/AL.

³ Graduando em Agronomia, Maceió/AL.

⁴ Graduando em Agronomia, Maceió/AL.

A biomassa seca de colmos e de raízes dos genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e Madeira sofrem reduções em condições de supressão de água, ao passo que, os genótipos de sorgo (SF 15 e BRS 716) não são afetados, indicando sua maior tolerância à deficiência hídrica.

Termos para indexação: gramíneas forrageiras, déficit hídrico, trocas gasosas, biomassa, desenvolvimento radicular.

Physiological Responses of Elephant-Grass and Sorghum Genotypes to Water Suppression

Abstract – The cultivation of forage species such as elephant grass and sorghum in regions with a typical occurrence of periods of water scarcity, such as the Agreste and the Coastal Tablelands of the Northeast, represent an important activity generating feed material and also for energy purposes. The objective of this work was to identify elephant grass and sorghum genotypes tolerant to water stress in the growth phase, through the evaluation of gas exchange, biomass production and root development of plants submitted to water suppression. Two genotypes of elephant grass (BRS Capiaçú and Madeira) and two sorghum genotypes (SF 15 and BRS 716) were submitted to two treatments: (1) control (soil field capacity) and (2) water suppression for 16 days and, later, rehydration of the soil. During this period the gas exchanges (respiration, stomatal conductance and photosynthetic activity) were determined through a compact gas exchange meter (IRGA). At the end of the evaluations, the values of dry biomass of stems, leaves and roots were quantified and the leaf:stem (F:C) and shoot:roots (PA:R) ratios were calculated and images of the root system were also obtained through a root scanner. The four genotypes have undergone gradual reductions in their transpiration rates, stomatal conductance and photosynthesis due to water suppression, however, only the SF 15 sorghum genotype demonstrates ability to fully recover their gas exchange after soil rehydration. The dry shoot and root biomass of BRS Capiaçú and Madeira elephant grass genotypes suffer reductions in water suppression conditions, while sorghum genotypes (SF 15 and BRS 716) are not affected, indicating their higher tolerance to water deficiency.

Index terms: forage grasses, water deficit, gas exchange, biomass partition, root development.

Introdução

Na maior parte das áreas tropicais do mundo, o déficit hídrico é o principal fator condicionante do desempenho produtivo das culturas. A assimilação e a alocação de carbono em órgãos não fotossintetizantes, bem como a produção de osmorreguladores e outros mecanismos morfofisiológicos são alterados em plantas sob estresse hídrico (Chaves et al., 2002). As consequências da deficiência hídrica variam de acordo com o estágio de desenvolvimento e a demanda evaporativa das culturas, tendo maior ou menor impacto na produtividade, mesmo em espécies que apresentam mecanismo fotossintético C4 e são adaptadas à elevada intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água (Inman-Bamber, 2004). A cana-de-açúcar, por exemplo, apresenta expressiva demanda hídrica no período de perfilhamento que ocorre de 60 a 150 dias após plantio (Machado et al., 2009; Ramesh, 2000). Por isso, o manejo cultural deve buscar sincronizar as fases fenológicas de maior demanda hídrica com períodos de precipitação pluviométrica regulares, evitando prejuízos decorrentes do estresse hídrico (Inman-Bamber; Smith, 2005; Lawlor, 2013).

A tolerância à seca implica na capacidade da planta em suportar a restrição hídrica sem danos morfofisiológicos relevantes e decréscimo da produtividade. Com a deficiência hídrica no solo ocorre o fechamento dos estômatos e as trocas gasosas (água e CO₂) são limitadas, mesmo assim, alguns genótipos tolerantes à seca podem desenvolver mecanismos de controle estomático que permitem o uso eficiente da água com os estômatos semiabertos, sem paralisar a fotossíntese e sem grandes perdas de água (Mutava et al., 2011).

O impacto do déficit hídrico sobre a produção de biomassa das plantas está relacionado com o seu estágio de desenvolvimento. Embora alguns estudos indiquem que a vulnerabilidade ao déficit hídrico é maior nas fases iniciais de crescimento (Ribeiro et al., 2013; Ramesh, 2000), outros autores demonstram que a maior suscetibilidade à seca ocorre durante a fase de pleno crescimento, quando ocorre o alongamento dos entrenós e há significativa redução no acúmulo de açúcares (Inman-Bamber; Smith, 2005; Robertson et al., 1999).

As adaptações metabólicas ao estresse hídrico podem explicar como as plantas diferem com relação à sensibilidade ao gradiente resultante da pressão de vapor de água da folha para o ar e como estas adaptações estão associadas aos mecanismos que a planta possui para evitar a desidratação. Além do fechamento dos estômatos, outras mudanças morfofisiológicas ocorrem em resposta ao estresse hídrico, dentre eles o ajuste do potencial osmótico pela acumulação de solutos, redução do volume celular, redução da área foliar, aumento da espessura foliar e aumento da profundidade do sistema radicular, além de mudanças na produção e atividade de enzimas e fitohormônios (Pugnaire et al., 1999). Vale ressaltar também que a prospecção de genes que participam nos mecanismos de tolerância e defesa das plantas é essencial para desenvolver plantas tolerantes à seca por meio de modificação genética (Shanker et al., 2014). Park et al. (2018), por exemplo, demonstraram que a supressão da expressão do gene BrDST71 em plantas de tabaco proporcionou maior crescimento em plantas sob estresse, e sugeriram que a regulação negativa (*down regulation*) deste gene melhora a tolerância das plantas contra a seca.

O tamanho e a distribuição do sistema radicular são diretamente afetados pela distribuição e disponibilidade da água, com diferenças na capacidade das plantas em explorar as camadas mais profundas do solo (Smith et al., 2005).

A avaliação das alterações morfológicas e fisiológicas em função do déficit hídrico podem indicar mecanismos de tolerância à seca. Por isso, os programas de melhoramento genético para condições de estresse hídrico têm seu foco direcionado para características como maior eficiência no uso da água, sistema radicular mais robusto, maior atividade do sistema antioxidativo e alta capacidade de ajustamento osmótico (Cavatte et al., 2011).

Dentre as gramíneas tropicais com elevado potencial de produção de biomassa, o capim-elefante e o sorgo são altamente promissoras, tanto para alimentação animal quanto como insumo bioenergético (Samson et al., 2005). Nessas espécies, a escassez de água no solo provoca a estacionalidade de produção, além de reduzir a taxa de vigor e a viabilidade das rebrotas (Norman et al., 1995).

O capim-elefante, *Pennisetum purpureum* Schum. (homotípico de *Cenchrus purpureum* [Schumach.] Morrone), é uma gramínea herbácea

perene de ciclo curto, propagada vegetativamente, que apresenta alto índice de perfilhamento, rápido crescimento, elevada eficiência fotossintética (ciclo C4) com alto acúmulo de matéria seca (40-45 t/ha/ano), excelente adaptação edafoclimática, alta capacidade de rebrota e capacidade de fixação biológica de nitrogênio (Strezov et al., 2008; Morais et al., 2009). A espécie apresenta rápida expansão foliar nos primeiros meses após o plantio e se desenvolve melhor em áreas com precipitações acima de 1000 mm anuais e temperatura do ar entre 30 °C e 35 °C (Hanna et al., 2004).

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma espécie herbácea, que apresenta propagação por sementes, ciclo longo (180 dias) e alta capacidade de produção de biomassa (Borém et al., 2014). Durante o ciclo completo do sorgo, a quantidade de água exigida varia de 450 mm a 500 mm, sendo que a planta é muito eficiente no uso da água do solo durante o ciclo vegetativo. Existem dois períodos críticos quanto à exigência de água pela cultura, o primeiro, imediatamente após a realização do plantio até 25 dias após a germinação e, o segundo, durante a fase de floração. Além disso, o sorgo apresenta capacidade de rebrota, devido à capacidade de conservar ativo seu sistema radicular (Rezende et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi identificar genótipos de capim-elefante e sorgo tolerantes ao estresse hídrico na fase de pleno crescimento, mediante a avaliação das trocas gasosas, da produção de biomassa e do desenvolvimento radicular de plantas submetidas à supressão hídrica.

Material e Métodos

Condições experimentais

O experimento foi implantado em novembro de 2017 em casa de vegetação da Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Tabuleiros Costeiros (Latitude 09° 28' 02", Longitude 35° 49' 38" e altitude 130 m), situada no município de Rio Largo, estado de Alagoas.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e cinco repetições. Nas parcelas foram avaliados os tratamentos com e sem supressão de água, enquanto, nas subparcelas

foram avaliados os genótipos, sendo dois de capim-elefante (BRS Capiçu e clone Madeira) e dois de sorgo forrageiro (SF 15 e BRS 716). As mudas de sorgo foram obtidas a partir de sementes e as de capim-elefante a partir de colmos, sendo cultivadas em vasos plásticos resistentes com capacidade para 100 litros, contendo substrato com granulometria areno-argilosa (75% areia, 5% silte e 20% argila) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do substrato. Rio Largo,AL.

Nutrientes minerais				Atributos químicos			
mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%			
K	P	Ca	Mg	T	m	V	MO
261	1234	5,24	1,47	8,8	0,82	82	3,58

*T = capacidade de troca de cátions, m = índice de saturação por bases e MO = matéria orgânica.

Aos 75 dias após o plantio (DAP) foram aplicados os tratamentos: (1) testemunha (capacidade de campo) e (2) supressão hídrica por 16 dias e reidratação do solo. As plantas foram irrigadas diariamente, sendo que, dois dias antes das avaliações fisiológicas, o fornecimento de água foi suspenso e o turno de rega do tratamento controle passou a consistir na reidratação das plantas a cada quatro dias.

As médias meteorológicas foram registradas em uma estação automática (Delta-T Devices) durante o período de avaliação de 20 dias (dos 75 aos 95 DAP). As médias observadas foram de 27,8 °C para temperatura do ar, de 90,4% para umidade relativa do ar e de 62,5 W m⁻² (watts por metro quadrado) para radiação solar global.

Avaliações fisiológicas (trocas gasosas)

Foram efetuadas avaliações fisiológicas das plantas na data de imposição dos tratamentos (75 DAP) e aos 4, 8, 12, 16 e 20 dias após a supressão hídrica (DASH). Aos 16 dias após a imposição dos tratamentos, todas as plantas foram reidratadas, com o intuito de se avaliar a capacidade de recuperação dos genótipos ao déficit hídrico.

As avaliações fisiológicas foram realizadas isoladamente para cada genótipo, utilizando-se a da folha +3 (terceira folha superior completamente expandida), contada a partir da folha +1 (primeira com a lígula visível). Foi utilizado um medidor compacto de trocas gasosas, modelo LCI (ADC BioScientific Ltd.), na determinação das variáveis: (1) taxa de transpiração (E), em milimols de H₂O por metro quadrado por segundo (mmol m⁻² s⁻¹), (2) condutância estomática (gs), em mols de H₂O por metro quadrado por segundo (mol H₂O m⁻² s⁻¹) e (3) atividade fotossintética (A), em micromols de CO₂ por metro quadrado por segundo (μmol m⁻² s⁻¹).

Produção de biomassa

Após o término das avaliações fisiológicas (95 DAP) foi efetuada a avaliação da produção de biomassa seca de colmos, de folhas e de raízes, mediante o corte, a separação e a limpeza da parte aérea (folhas e colmos) e das raízes. Os colmos, as folhas e as raízes foram submetidos à secagem em estufa por 48h a 105 °C, sendo posteriormente pesados em balança analítica de precisão. Foram determinadas as produções de biomassa seca de folhas (BSF), de biomassa seca de colmos (BSC) e biomassa seca de raízes (BSR), expressas em gramas de matéria seca por vaso (g vaso⁻¹). A partir dos valores obtidos foram calculadas as relações folha:colmo (F:C) e parte aérea:raízes (PA:R).

Desenvolvimento radicular

Após o término das avaliações fisiológicas (95 DAP) foram captadas imagens do sistema radicular em cada um dos quatro genótipos, nos dois tratamentos avaliados. As imagens foram obtidas mediante a inserção prévia de tubos de acrílico transparentes no substrato de três recipientes (repetições) e a captura de imagens, na profundidade de 10 cm a 30 cm a partir da superfície do solo, mediante o uso de um scanner de raízes (CID Bio-Science, Modelo CI-601).

Análise estatística

Os resultados das avaliações fisiológicas (A, E e gs) foram comparados entre tratamento dentro de cada data de avaliação e entre datas de avaliação dentro de cada tratamento. Os resultados da produção de biomassa (BSC, BSF e BSR) e das relações folha:colmo (F:C) e parte aérea:

raízes (PA:R) foram comparados entre tratamentos dentro de cada genótipo e entre genótipos dentro de cada tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), através do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011).

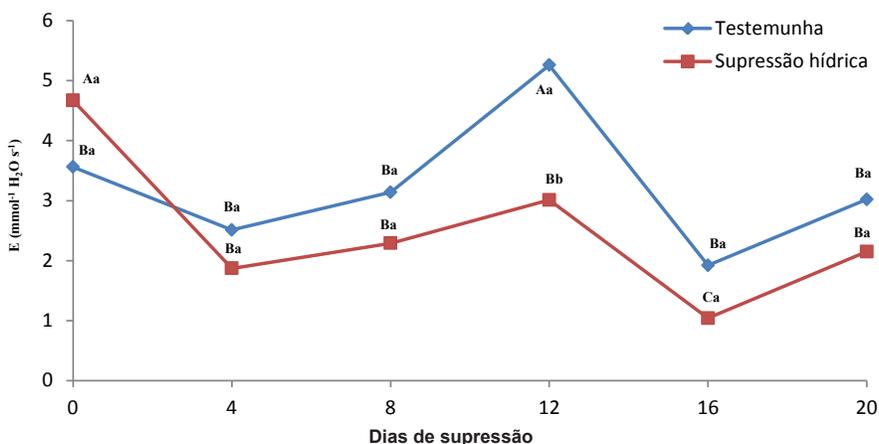
Resultados e Discussão

Avaliações fisiológicas (trocas gasosas)

Foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamentos e datas de avaliação para transpiração (E), condutância estomática (gs) e atividade fotossintética (A) para todos os genótipos avaliados.

Capim-elefante BRS Capiaçú

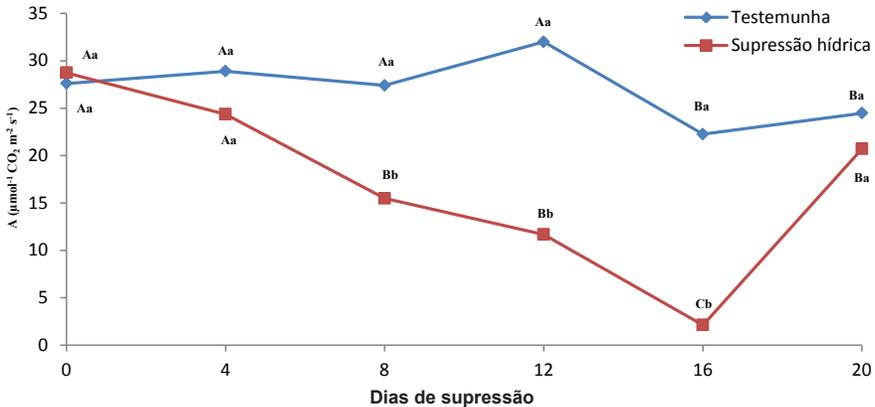
O genótipo BRS Capiaçú apresentou transpiração (E) significativamente superior no tratamento controle em relação ao tratamento com supressão de água aos 12 DASH. Além disso, houve redução da E aos 4 e 16 DASH e aumento aos 20 DASH no tratamento com supressão hídrica (Figura 1).



*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 1. Transpiração (E) em capim-elefante BRS Capiaçú submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

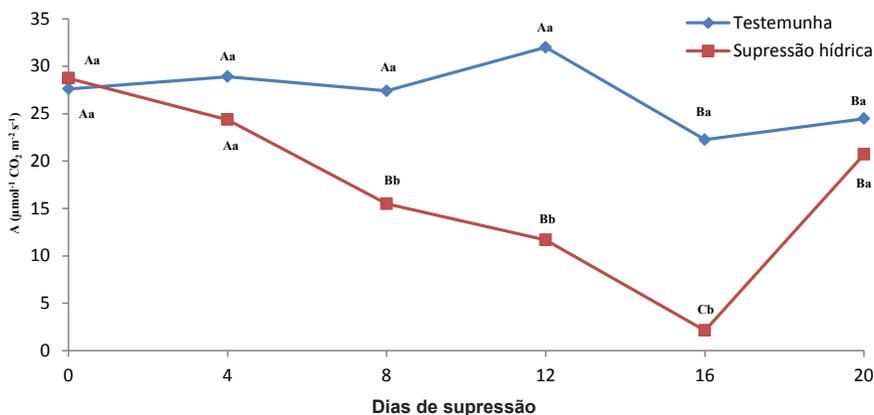
O capim-elefante BRS Capiaçú apresentou condutância estomática (gs) significativamente superior no tratamento controle em relação ao tratamento com supressão de água aos 8, 12 e 16 DASH. Houve redução da gs aos 4 e aos 12 DASH e aumento aos 20 DASH nas plantas do tratamento com supressão hídrica (Figura 2).



*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 2. Condutância estomática (gs) em capim-elefante BRS Capiaçú submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

O BRS Capiaçú apresentou taxa de fotossíntese (A) significativamente superior ao tratamento controle em relação ao tratamento com supressão de água aos 8, 12 e 16 DASH. No tratamento com supressão hídrica, houve redução da gs aos 8 e aos 16 DASH e aumento aos 20 DASH (Figura 3).



*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

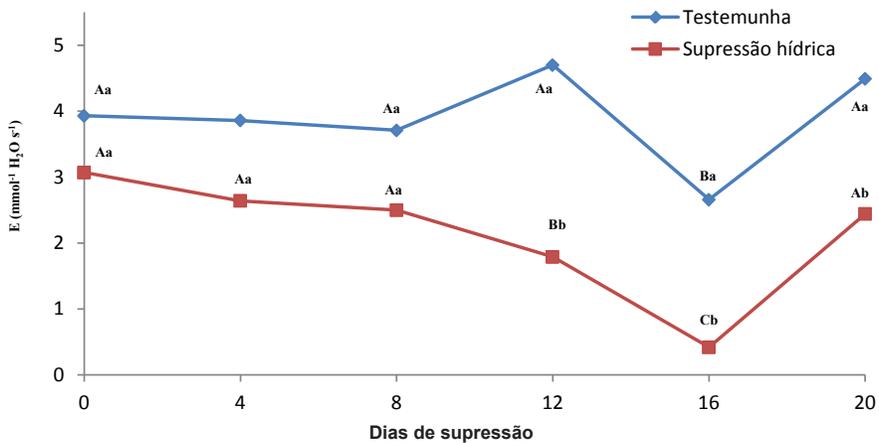
Figura 3. Fotossíntese (A) em capim-elefante BRS Capiáçu submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Aos 16 DASH as plantas submetidas ao tratamento com supressão hídrica apresentaram suas taxas de condutância e de fotossíntese significativamente inferiores ao tratamento controle, entretanto, aos 20 DASH ocorreu recuperação das taxas de A e de gs. Estas constatações indicam que a BRS Capiáçu é capaz de recuperar e reestabelecer suas trocas gasosas após a reidratação do solo.

Smit e Singels (2006) notaram reduções na condutância estomática em variedades de cana-de-açúcar, afirmando que tal variável apresenta alta sensibilidade na medida em que o solo se torna mais seco.

Capim-elefante clone Madeira

O capim-elefante clone Madeira apresentou taxas de E significativamente superiores no tratamento controle aos 12, 16 e 20 DASH. Aos 16 DASH as plantas submetidas à supressão apresentaram taxa de transpiração mínima de $0,42 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, entretanto, houve aumento da E para $2,44 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 20 DASH após a reidratação do solo (Figura 4).

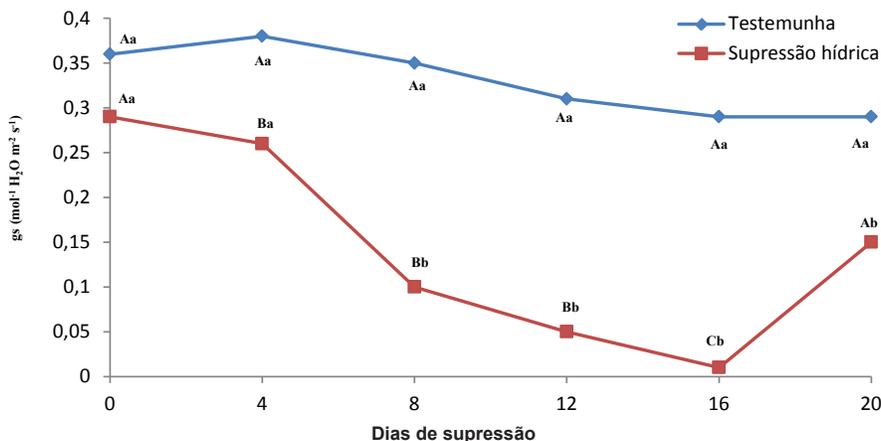


*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 4. Transpiração (E) em capim-elefante clone Madeira submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Sob condição de baixa disponibilidade hídrica do solo ocorre significativa redução na condutância estomática, provavelmente, pelo efeito do elevado déficit de pressão de vapor (DPV), o qual ocasiona o fechamento estomático (Araújo et al., 2010).

As taxas de gs das plantas sob supressão foram inferiores às testemunhas aos 8, 12, 16 e 20 DASH (Figura 5).



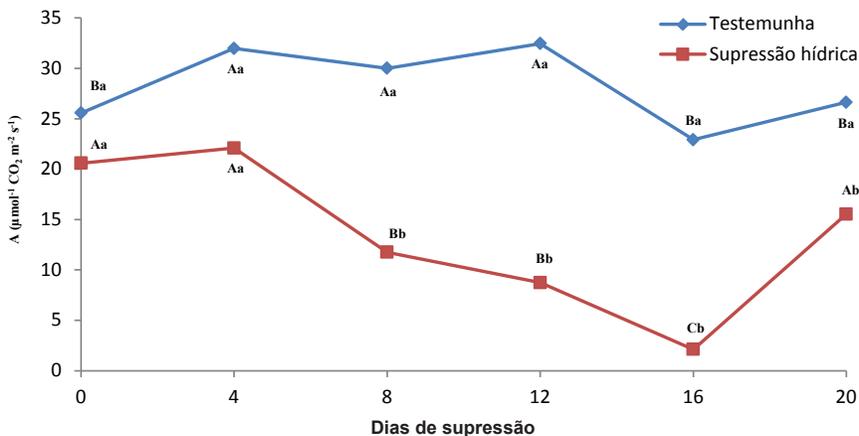
*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 5. Condutância estomática (gs) em capim-elefante clone Madeira submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Aos 16 DASH as plantas submetidas à supressão hídrica apresentaram menor taxa de condutância estomática ($0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em relação à testemunha ($0,29 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

O déficit hídrico provoca a redução na capacidade fotossintética das plantas pelo fechamento dos estômatos, com menor suprimento de CO_2 , aumentando a resistência difusiva ao vapor de água e reduzindo a transpiração, o que afeta a dissipação da energia térmica e o transporte de nutrientes por fluxo de massa (Wu; Campbell, 2007).

As taxas de A das plantas sob supressão foram inferiores à das plantas controle aos 8, 12 16 e 20 DASH (Figura 6).



*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 6. Fotossíntese (A) em capim-elefante clone Madeira submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Da mesma forma que ocorreu para a taxa de gs, as plantas submetidas à supressão hídrica apresentaram menor taxa de fotossíntese ($2,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação à testemunha ($0,29 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 16 DASH.

Após a reidratação do solo, os significativos aumentos nas taxas de gs e A, indicam que, o genótipo Madeira também é capaz de recuperar, mesmo que, não de maneira plena, suas trocas gasosas, mediante a reidratação do solo, realizada 16 dias após a supressão.

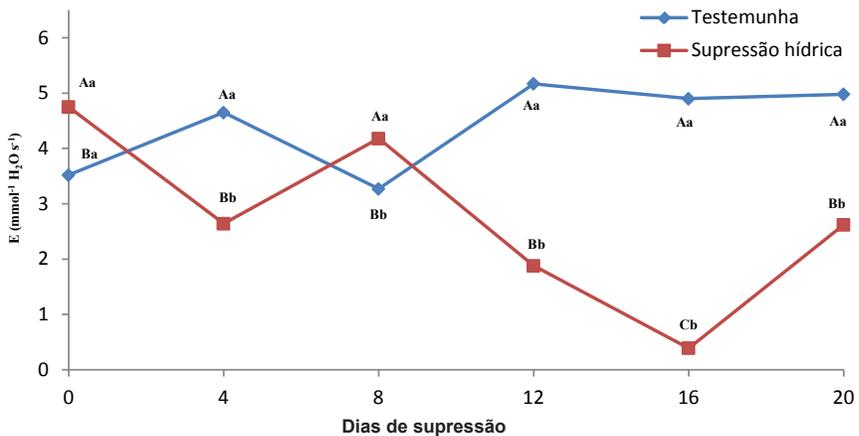
As adaptações metabólicas ao estresse hídrico podem explicar como as plantas diferem com relação à sensibilidade ao gradiente resultante da pressão de vapor de água da folha para o ar e essas adaptações estão associadas aos mecanismos que a planta possui para evitar a desidratação (Pugnaire et al., 1999).

A presença de reservas de água dentro dos vacúolos das células ou no xilema possibilita a planta suportar severas faltas de água, por determinado tempo. No entanto, a perda de água superior à absorção não é tolerada por muito tempo e as plantas fecham os seus estômatos induzidos pela síntese de ácido abscísico (ABA) nas folhas (Moreno, 2009).

A presença de reservas de água dentro dos vacúolos das células ou no xilema possibilita a planta suportar severas faltas de água, por determinado tempo. No entanto, a perda de água superior à absorção não é tolerada por muito tempo e as plantas fecham os seus estômatos induzidos pela síntese de ácido abscísico (ABA) nas folhas (Moreno, 2009).

Sorgo biomassa BRS 716

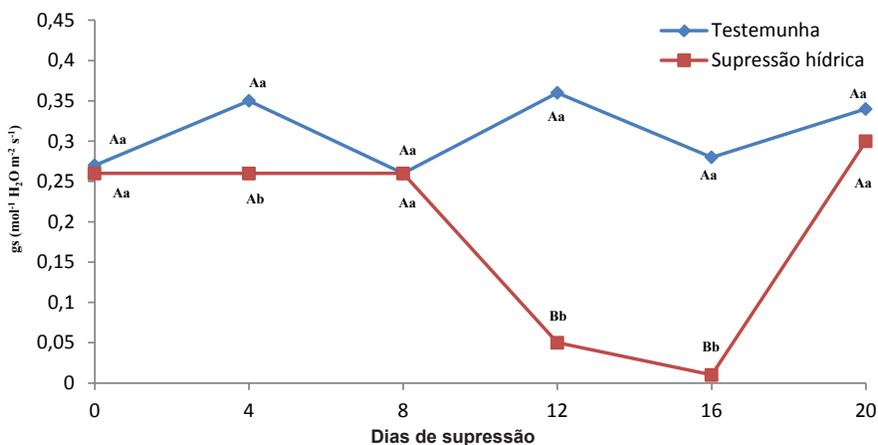
O BRS 716 apresentou taxas de E significativamente superiores no tratamento controle aos 12 e 16 DASH. Aos 20 DASH, houve aumento da E nas plantas do tratamento em supressão hídrica após reidratação do solo (Figura 7).



*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 7. Transpiração (E) em sorgo biomassa BRS 716 submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

A taxa de gs das plantas controle foi superior à das plantas submetidas à supressão hídrica, aos 12 e 16 DASH (Figura 8).

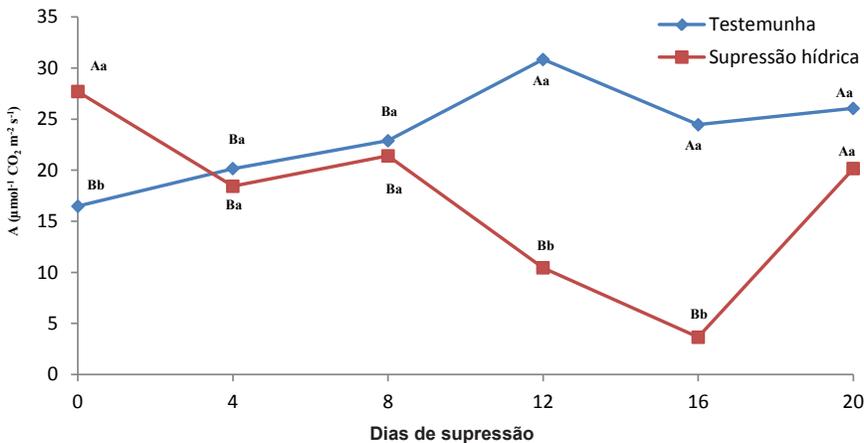


*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 8. Condutância estomática (gs) em sorgo biomassa BRS 716 submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Aos 16 DASH as plantas submetidas à supressão apresentaram taxa mínima de gs ($0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), entretanto, após reidratação foi constatado um significativo aumento da gs aos 20 DASH ($0,3 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) não diferindo do tratamento controle ($0,34 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A taxa de A das plantas controle foi superior à das plantas submetidas à supressão hídrica, aos 12 e 16 DASH (Figura 9).



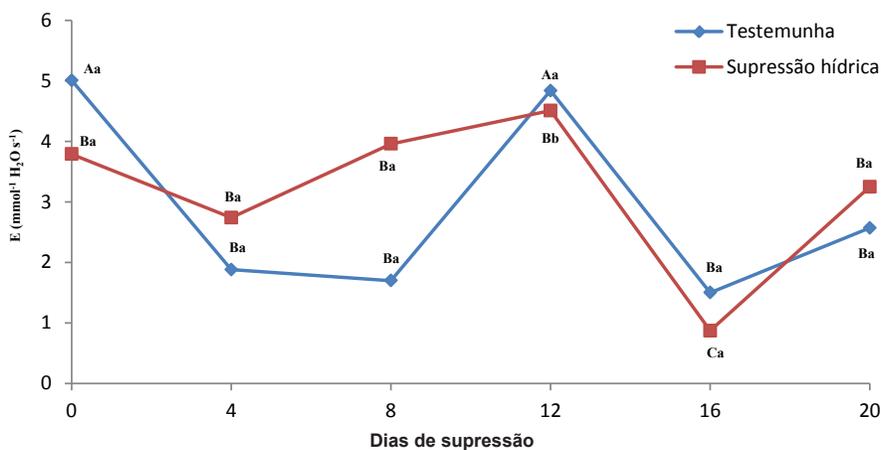
*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 9. Fotossíntese (A) em sorgo biomassa BRS 716 submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Aos 16 DASH as plantas submetidas à supressão apresentaram taxa mínima de A ($3,65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). No entanto, após a reidratação do solo houve aumento da taxa de A ($20,16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), atingindo valor muito próximo ao do tratamento controle ($26,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Os aumentos na atividade fotossintética e na condutância estomática observados neste estudo demonstram que o sorgo BRS 716 apresenta capacidade de recuperação das suas trocas gasosas mediante a reidratação do solo, após um período de 16 dias de supressão. Tais resultados corroboram com aqueles descritos por Nable et al. (1999), os quais verificaram reduções nas taxas transpiratórias em sorgo e cana-de-açúcar, sendo que nessa última foram mais severas, sempre que a fração de água disponível no solo decrescia.

Sorgo Forrageiro SF 15

O sorgo SF 15 apresentou E significativamente superior no tratamento com supressão hídrica ($3,96 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação ao controle ($1,7 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) aos 8 DASH. No tratamento com supressão houve redução da E aos 16 DASH e aumento da E aos 20 DASH, após a reidratação (Figura 10).

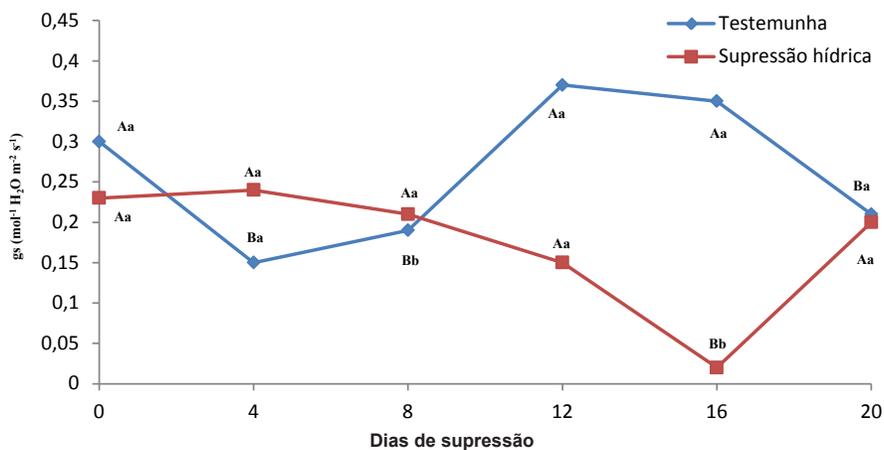


*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 10. Transpiração (E) em sorgo forrageiro SF 15 submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

As folhas do sorgo possuem um eficiente sistema de transpiração que evita a perda de água (Rezende et al., 2011). Entretanto, Bergonci e Pereira (2002) observaram que, em plantas de milho, a transpiração diminui com a restrição hídrica do solo, tornando-se praticamente nula com 20% de água disponível no solo.

A taxa de gs das plantas controle de sorgo SF 15 foi superior à das plantas mantidas sob supressão hídrica aos 12 e 16 DASH (Figura 11).

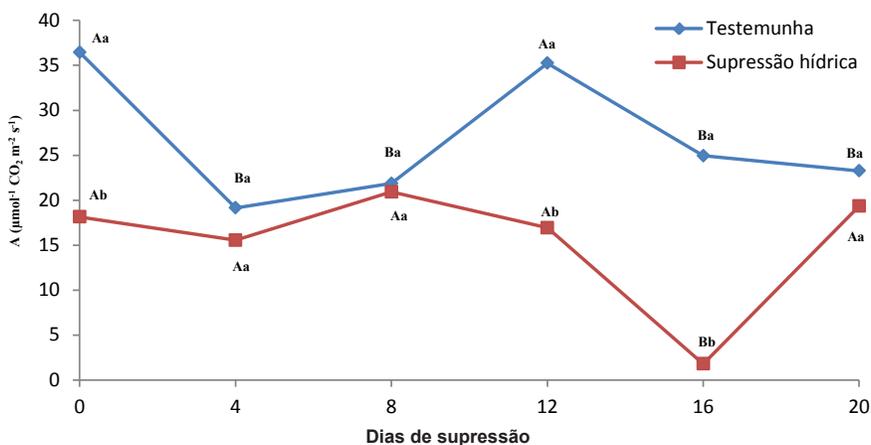


*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 11. Condutância estomática (gs) em sorgo forrageiro SF 15 submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Aos 16 DASH as plantas submetidas à supressão hídrica apresentaram taxa de gs ($0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) significativamente inferior em relação à testemunha ($0,35 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). No entanto, após a reidratação do solo, não foram constatadas diferenças significativas entre tratamentos aos 20 DASH.

As taxas de A das plantas controle do sorgo SF 15 foram superiores à das plantas mantidas sob supressão hídrica aos 12 e 16 DASH (Figura 12).



*letras maiúsculas distintas entre datas ou minúsculas distintas entre tratamentos, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 12. Fotossíntese (A) em sorgo forrageiro SF 15 submetido à supressão hídrica e reidratação do solo após 16 dias. Rio Largo, AL, 2018.

Aos 16 DASH as plantas submetidas à supressão hídrica apresentaram menor taxa de fotossíntese ($1,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação ao tratamento controle ($24,95 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Apesar disso, após a reidratação do solo, a A aumentou significativamente ($19,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) não sendo constatadas diferenças significativas entre tratamentos aos 20 DASH.

Dentre os quatro genótipos avaliados o sorgo forrageiro SF 15 foi o única capaz de reestabelecer plenamente todas as suas trocas gasosas (E, gs e A) mediante a reidratação do solo, após um período de 16 dias de supressão de água.

As respostas da fotossíntese são dependentes da espécie, sendo que o declínio da atividade fotossintética em decorrência do déficit hídrico se dá paralelamente com a diminuição do volume celular e, portanto, conjuntamente com a redução na turgescência (Larcher, 2004).

Notadamente, a recuperação das trocas gasosas após a reidratação do solo é mais pronunciada nos genótipos de sorgo em relação aos de capim-elefante, evidenciando a menor exigência hídrica do sorgo. Cabe salientar a necessidade da execução de estudos de expressão gênica nessas espécies para ratificar essas constatações, tais como o trabalho desenvolvido em milho por Dudhate et al. (2018).

Produção de biomassa

Biomassa seca de colmos (BSC)

Foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre genótipos (dentro de cada tratamento) e entre tratamentos (dentro de cada genótipo) para as produções de biomassa seca de colmos (BSC) (Figura 13).

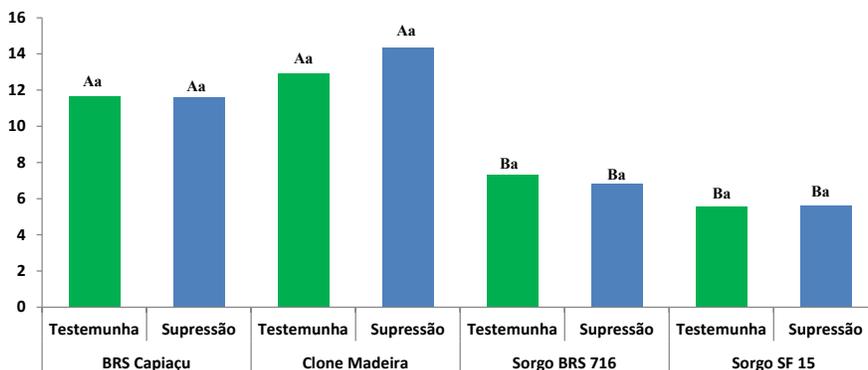


Figura 13. Biomassa seca de colmos (BSC) em genótipos de capim-elefante e sorgo após supressão. Rio Largo, AL, 2018.

Na comparação entre tratamentos, os genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e clone Madeira apresentaram valores de BSC significativamente inferiores no tratamento de supressão hídrica. Na comparação entre genótipos, dentro do tratamento testemunha, os que apresentaram os maiores valores para BSC foram o capim-elefante BRS Capiaçú (408,5 g vaso⁻¹) e o clone Madeira (363,1 g vaso⁻¹). Já, no tratamento com supressão hídrica, o sorgo SF 15 foi o que apresentou o menor valor para BSC em relação aos demais genótipos. Marafon et al. (2017) verificaram que estes mesmos dois genótipos produziram mais de 80 toneladas de matéria seca por hectare, no período de um ano, com dois cortes anuais.

Quando cultivado com disponibilidade hídrica satisfatória e manejado intensivamente, o capim-elefante pode apresentar produções diárias de matéria seca superiores a 125 kg ha⁻¹, mantendo rebrotas viáveis (Paciullo et al., 2003).

Biomassa seca de folhas (BSF)

Foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre genótipos e entre tratamentos para BSF (Figura 14).

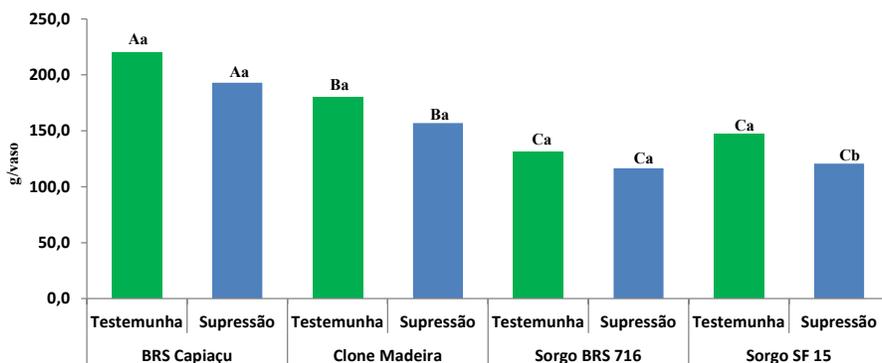


Figura 14. Biomassa seca de folhas (BSF) em genótipos de capim-elefante e sorgo após supressão. Rio Largo, AL, 2018.

O genótipo de sorgo SF 15 apresentou menor valor para BSF nas plantas mantidas em regime de supressão hídrica em comparação com as plantas do tratamento controle.

Na comparação entre genótipos, tanto aqueles mantidos em supressão quando aqueles mantidos em capacidade de campo (testemunha), o capim-elefante BRS Capiaçú foi o que apresentou o maior valor para BSF, seguido pelo clone Madeira, com BSF superior aos dois genótipos de sorgo.

A produção de BSF do sorgo SF15 foi significativamente inferior nas plantas do tratamento com supressão hídrica. Isso pode ter refletido na intensificação do processo de senescência foliar, reduzindo a eficiência fotossintética das folhas e aumentando as perdas respiratórias da planta.

A supressão hídrica afeta negativamente o crescimento da parte aérea, principalmente o número de folhas verdes, devido à progressão da senescência foliar e à inibição do surgimento de novas, o que ocasiona menor interceptação da radiação solar e conseqüente redução na eficiência de uso da água e na fotossíntese (Inman-Bamber, 2004). Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), durante o período de estresse hídrico as folhas emergentes

tendem a ficar acumuladas na parte emergente (cartucho) da planta, devido ao baixo potencial de água na planta e no solo.

Para se adaptarem às condições de déficit hídrico, algumas plantas adotam a estratégia de redução da parte aérea em favor das raízes, limitando sua capacidade de competir por luz, pela diminuição da área foliar, com consequente redução na produtividade (Nabinger, 1997), aceleração na taxa de senescência foliar, inibição do perfilhamento e ramificações e a aceleração da morte dos perfilhos estabelecidos, bem como atraso no seu crescimento e desenvolvimento (Buxton; Fales, 1994).

Biomassa seca de raízes (BSR)

Foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre genótipos e entre tratamentos para BSR (Figura 15).

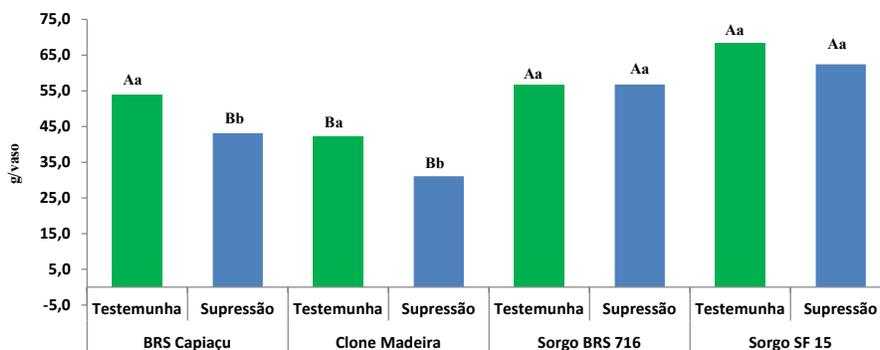


Figura 15. Biomassa seca de raízes (BSR) em genótipos de capim-elefante e sorgo após supressão. Rio Largo, AL, 2018.

Os genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e clone Madeira SF 15 apresentaram menores valores para BSR nas plantas mantidas em regime de supressão hídrica em relação às plantas mantidas sob condições ideais de umidade. Notadamente os dois genótipos de sorgo não sofreram reduções no acúmulo de biomassa nas raízes.

Na comparação entre genótipos mantidos em capacidade de campo (testemunha), o capim-elefante Madeira apresentou valor de BSR inferior aos demais materiais. Já, entre genótipos mantidos sob supressão hídrica, os de sorgo SF 15 e BRS 716 apresentaram valores de BSR superiores aos genótipos de capim-elefante.

Em condições favoráveis de umidade do solo a maior quantidade de raízes favorece a produtividade e a rebrota das soqueiras subsequentes. Entretanto, em condições de déficit hídrico no solo, a manutenção de grande massa de raízes pode resultar em gasto excessivo de energia metabólica e trazer consequências negativas sobre o crescimento das plantas e sobre a produtividade. A manutenção de pequena massa radicular com formação de raízes novas, antes dos períodos críticos de umidade, pode contribuir para a manutenção da produtividade (Vasconcelos, 2002).

As reduções significativas nas produções de BSC e de BSR nos genótipos de capim-elefante BRS Capiáçu e do clone Madeira em função da supressão hídrica demonstram que a deficiência hídrica afeta o desenvolvimento radicular dos mesmos. Santos et al. (2011) afirmaram que, embora o capim-elefante tolere curtos períodos de seca, sua produção é reduzida ou nula quando prevalece o déficit hídrico, no entanto, ele apresenta capacidade de recuperação logo após o início das chuvas.

Por outro lado, os dois genótipos de sorgo não sofrem redução na BSR após os 16 dias de supressão hídrica, indicando uma moderada tolerância ao déficit hídrico do solo. De acordo com Magalhães e Durães (2003), a profundidade do sistema radicular do sorgo pode atingir até 1,5 m (sendo 80% dela concentrada na faixa de 0 cm a 30 cm de profundidade no solo), com extensão lateral de até 2,0 m.

Quando submetidas às condições de deficiência hídrica, as plantas passam por um período de aclimação em que são observadas alterações metabólicas e morfológicas para tolerar a perda de água e prevenir danos aos tecidos. Nas regiões em que são observados períodos de déficit hídrico acentuado é necessário estudar a relação da cultura com a água, visando ter como resposta, o quanto a cultura tolera períodos de restrição hídrica para que estratégias de manejo possam ser adotadas (Inman-Bamber; Smith, 2005).

Relações folha:colmo e parte aérea:raízes

Relação folha:colmo (F:C)

Foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) tanto entre genótipos quanto entre tratamentos (Figura 16).

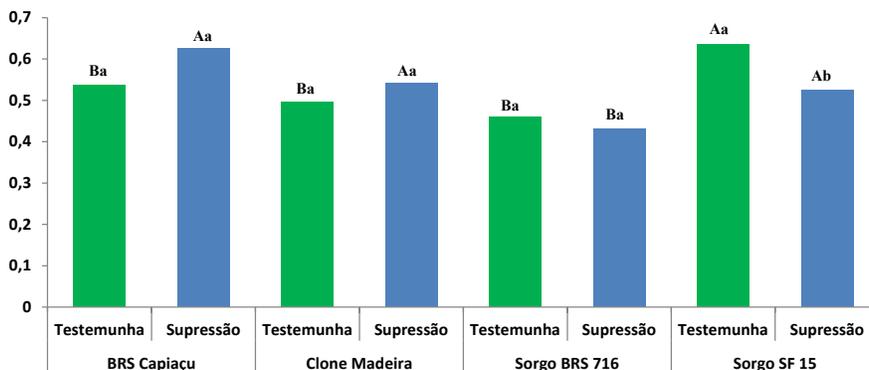


Figura 16. Relação folha:colmo (F:C) em genótipos de capim-elefante e sorgo após supressão. Rio Largo, AL, 2018.

Na comparação entre genótipos sob supressão hídrica, o sorgo BRS 716 foi o que apresentou a menor relação F:C. Já, entre aqueles sob capacidade de campo (testemunha), o sorgo SF 15 foi o que apresentou a maior relação F:C entre todos os materiais. No entanto, este mesmo genótipo apresentou menor relação F:C nas plantas do tratamento com supressão em relação ao tratamento testemunha.

A redução na relação F:C pode ser reflexo de uma maior alocação de assimilados para o desenvolvimento de colmos e raízes, em detrimento da produção de folhas durante a fase linear de crescimento.

Relação parte aérea:raiz (PA:R)

Foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) apenas entre genótipos para a relação PA:R (Figura 17).

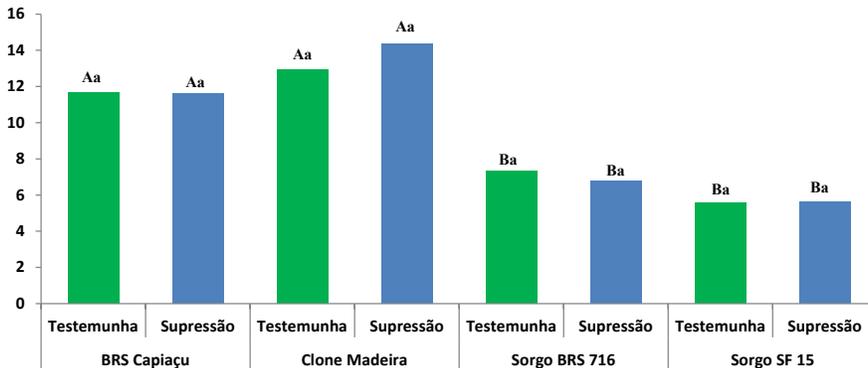


Figura 17. Relação parte aérea:raiz (PA:R) em genótipos de capim-elefante e sorgo após supressão. Rio Largo, AL, 2018.

Na comparação entre genótipos, tanto aqueles mantidos sob supressão hídrica quando aqueles sob capacidade de campo (testemunha), os genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e clone Madeira apresentaram os maiores valores para a maior relação PA:R entre os demais.

As maiores relações PA:R dos genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e clone Madeira devem-se ao seu porte elevado e à alta proporção de colmos em relação às folhas.

Magalhães et al. (2014) afirmaram que a tolerância diferenciada ao estresse hídrico apresentada pelo sorgo é conferida pelo seu sistema radicular e extenso e por características foliares de plantas xerófitas, que atrasam a perda de água permitindo o uso mais eficiente deste recurso. Por esta razão, o sorgo é muito utilizado no semiárido brasileiro, onde há irregularidade no regime de chuvas, com período curto, distribuição irregular e ocorrência de veranicos, com 15 a 20 dias de duração (Barros, 2004).

Desenvolvimento radicular

Com intuito de ilustrar o desenvolvimento das raízes após a supressão hídrica (95 DAP) foram captadas imagens do sistema radicular (10 cm a 30 cm) dos genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú (Figura 18) e clone Madeira (Figura 19) e de sorgo BRS 717 (Figura 20) e SF 15 (Figura 21), através de um scanner de raízes.

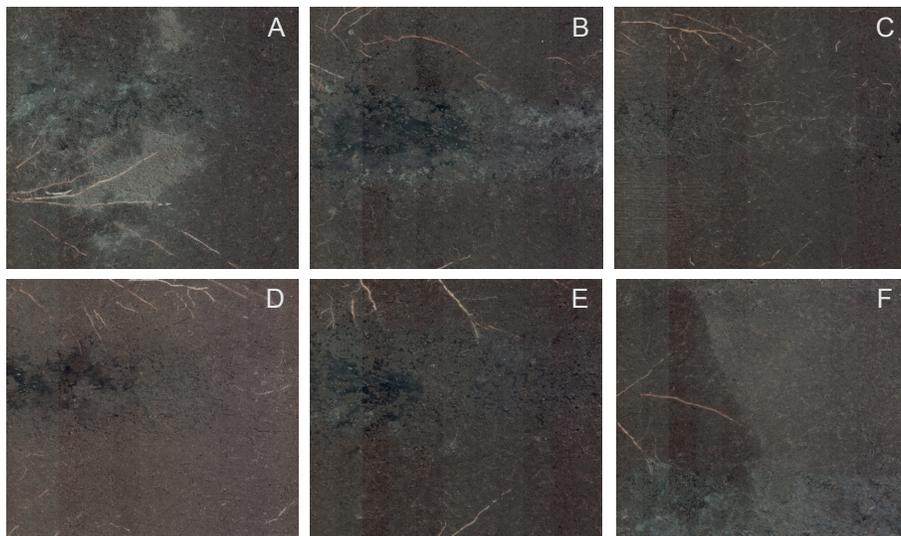


Figura 18. Imagens digitais do sistema radicular do capim-elefante BRS Capiçau: testemunha (A-C) e supressão hídrica (D-F).

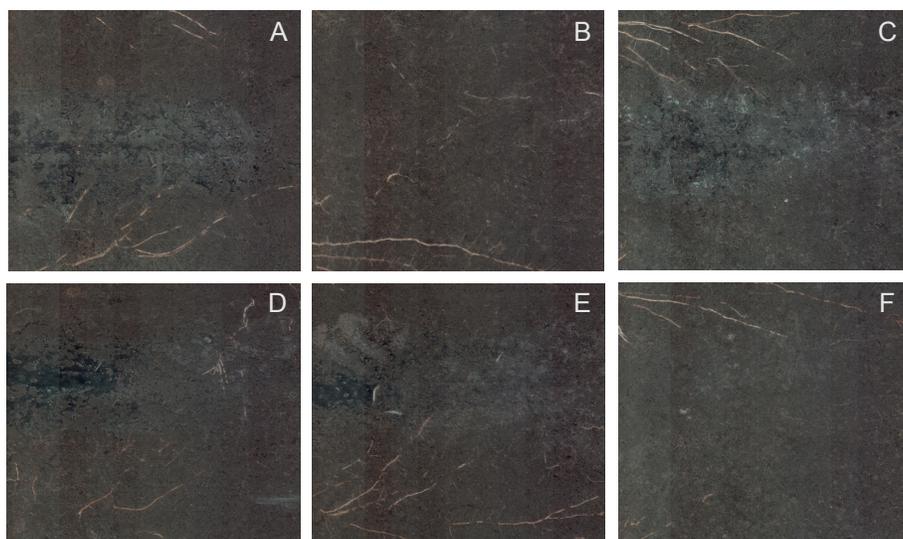


Figura 19. Imagens digitais do sistema radicular do capim-elefante clone Madeira: testemunha (A-C) e supressão hídrica (D-F).

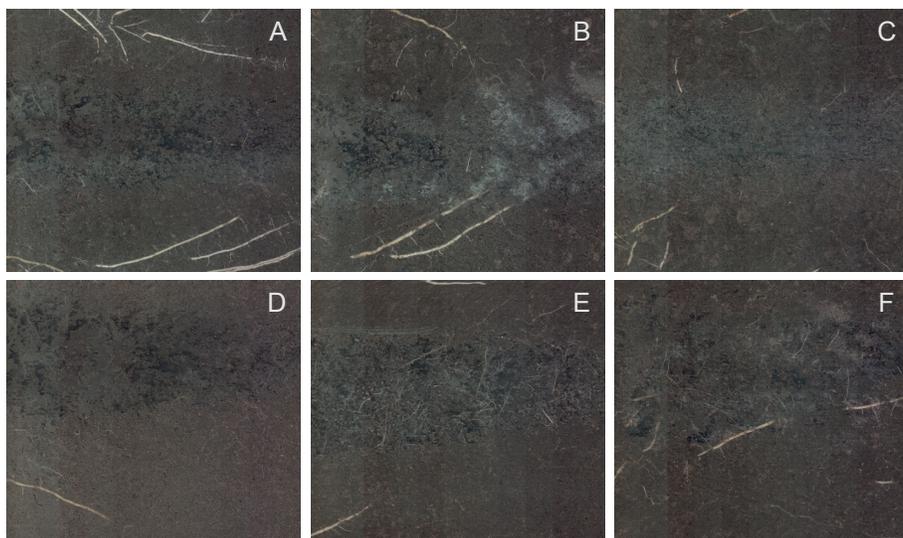


Figura 20. Imagens digitais do sistema radicular do sorgo biomassa BRS 716: testemunha (A-C) e supressão hídrica (D-F).

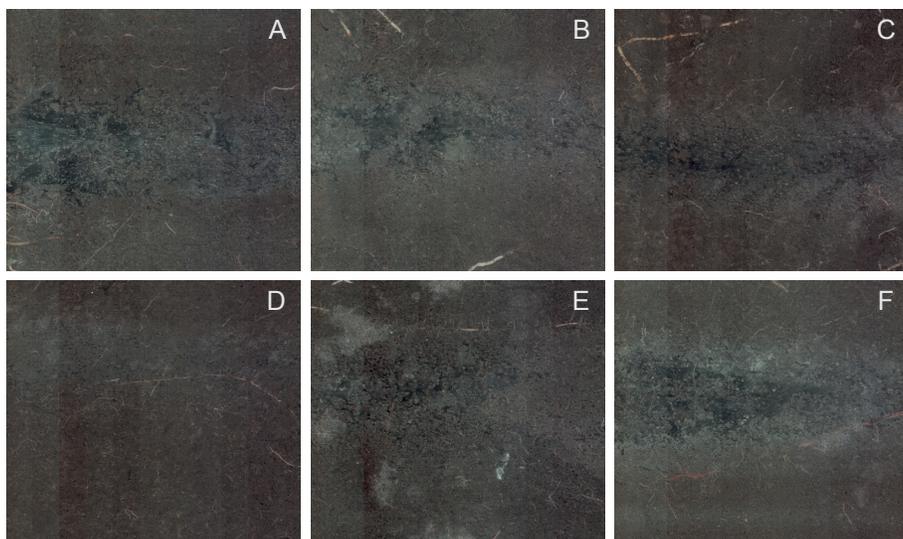


Figura 21. Imagens digitais do sistema radicular do sorgo forrageiro SF 15: testemunha (A-C) e supressão hídrica (D-F).

Conclusões

Os genótipos avaliados sofrem reduções gradativas nas taxas de transpiração (E), condutância estomática (gs) e fotossíntese mediante supressão hídrica durante a fase de pleno crescimento.

O sorgo forrageiro SF 15 apresenta plena capacidade de recuperação de suas trocas gasosas (E, gs e A) após 16 dias de supressão hídrica, mediante reidratação do solo.

Os genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e de sorgo biomassa BRS 716 são capazes de recuperar a condutância estomática e a fotossíntese após um período de 16 dias de supressão hídrica, mediante a reidratação do solo.

Os genótipos de sorgo não apresentam reduções no acúmulo de biomassa de colmos e de raízes, indicando sua maior tolerância à deficiência hídrica.

Após a supressão de água durante a fase de crescimento a biomassa seca de colmos e de raízes dos genótipos de capim-elefante BRS Capiaçú e Madeira sofrem reduções e a biomassa seca de folhas do sorgo forrageiro SF15 sofrem reduções significativas.

Referências

ARAÚJO, S. A. C. A.; VASQUEZ, M. H.; CAMPOSTRINI, E.; TORRES NETTO, A.; DEMINICIS, B. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

BARROS, A. H. C. Zoneamento de Risco Climático para o Sorgo no Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. CD-ROM

BERGONCI, J. I.; PEREIRA, P. G. Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 229-235, 2002.

BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2014. 275 p.

BUXTON, D. R.; FALES, S. L. Plant Environment and Quality. In: FAHEY JUNIOR, G. C. (Ed.). **Forage Quality, Evaluation and utilization**. Mandinon: American Society Agronomy, p.155- 199, 1994.

CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; SILVA, P. E. M.; SOUZA, L. T.; DA MATTA, F. M. A fisiologia dos estresses abióticos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema. 2011. 250 p.

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 water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v. 89, p. 907-916, 2002.

DUDHATE, A.; SHINDE, H.; TSUGAMA, D.; LIU, S.; TAKANO, T. Transcriptomic analysis reveals the differentially expressed genes and pathways involved in drought tolerance in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br]. **PLoS ONE**, v.13, n. 4, p. 1-14, 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HANNA, W. W.; CHAPARRO, C. J.; MATHEWS, B. W.; BURNS, J. C.; SOLLENBERGER, L. E. Perennial Pennisetums. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. (Ed.). **Warm-Season (C4) Grasses**. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2004. p. 503-535.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v. 89, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p.185-202, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LAWLOR, D. W. Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 1, p. 83-108, 2013.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C. M.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 87).

MAGALHÃES, P. C.; SOUXA, T. C.; MAY, A.; LIMA FILHO, O. F.; SANTOS, F. C.; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2014. p. 59-88.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; MACHADO, J. C.; GUIMARÃES, V. dos S.; PAIVA, H. L. Produção de biomassa em gramíneas tropicais com potencial. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 19 p. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 132).

MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J.; LEITE, J. M.; SOARES, L. H. B. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p.133-140, fev. 2009.

MORENO, L. P. F. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. **Agronomía Colombiana**, v. 27, n. 2, p. 179-191, 2009.

MUTAVA, R. N.; PRASAD, P. V. V.; TUINSTRA, M. R.; KOFOID, K. D.; YU, J. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, v. 123, p. 10-18, 2011.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 13., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. p.15-95.

- NABLE, R. O.; ROBERTSON, M. J.; BERTHELSEN, S. Response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane. **Plant and Soil**, v. 207, n. 1, p. 59-65, Sep. 1999.
- NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. **The ecology of tropical food crops**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- PACIULLO, D. S. C.; DERESZ, F.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; VERNEQUE, R. S. Morfogênese e acúmulo de biomassa foliar em pastagem de capim-elefante avaliada em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 881-887, jul. 2003.
- PARK, J.; YU, J.; LEE, G.; PARK, Y. Drought tolerance induction in transgenic tobacco through RNA interference of BrDST71, a drought-responsive gene from Chinese cabbage. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, Seul, v. 59, n. 5, p. 749–757, Oct. 2018.
- PUGNAIRE, F. I.; ENDOLZ, L. S.; PARDOS, J. Constraints by water stress on plant growth. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop Stress**. 2. Ed. New York: Marchel Dekker, 1999. p. 271 - 284.
- RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy Crop Science**, v. 185, p. 83-89, 2000.
- REZENDE, P. M.; ALCANTARA, H. P.; PASSOS, A. M. A.; CARVALHO, E. R.; BALIZA, D. P.; OLIVEIRA, G. T. M. Rendimento forrageiro da rebrota do sorgo em sistema de produção consorciado com soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, 2011.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, R. S.; MACHADO, E. C.; MACHADO, D. F. S. P.; MAGALHÃES FILHO, J. R.; LANDELL, M. G. A. Revealing drought-resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. **Experimental Agriculture**, v. 49, n. 2, p. 212–224, Apr. 2013.
- ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, v. 64, n. 3, p. 211-227, Dez. 1999.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HOLEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Chicago, v. 24, n. 5-6, p. 461-495, 2005.

SANTOS, M. C. S.; LIRA, M. A.; TABOSA, J. N.; MELLO, A. C. L.; SANTOS, M. V. F. Comportamento de clones de Pennisetum submetidos a períodos de supressão hídrica controlada. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, p. 31-39, 2011.

SHANKER, A. K.; MAHESWARI, M.; YADAV, S. K.; DESAI S.; BHANU, D.; ATTAL, N. B.; VENKATESWARLU, B. Drought stress responses in crops. **Functional Integrative Genomics**, v. 14, n. 1, p. 11-22, Mar. 2014.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crop Research**, v. 98, n. 1, p. 91-97, Mar. 2006.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2-3, p.169-183, Jun. 2005.

STREZOV, V.; EVANS, T. J.; HAYMAN, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 17, p. 8394-8399, Nov. 2008.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita**: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 f.. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2002.

WU, C. A., CAMPBELL, D. R. Leaf physiology reflects environmental differences and cytoplasmic background in *Ipomopsis* (Polemoniaceae) hybrids. **American Journal Botany**, v. 94, n. 11, p. 1804-1812, 2007.



Tabuleiros Costeiros