

Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação

Orlando Oliveira Santos ⁽¹⁾; Hiram Falcão ⁽²⁾; Antônio Celso Dantas Antonino ⁽³⁾;
José Romualdo Souza Lima ⁽¹⁾; Bruno Melo Lustosa⁽²⁾; Mauro Guida Santos ^(2*)

⁽¹⁾ Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Departamento de Produção Agrícola, Avenida Bom Pastor, s/n, 55292-270 Garanhuns (PE), Brasil.

⁽²⁾ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Botânica, Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235, 50670-901 Recife (PE), Brasil.

⁽³⁾ UFPE, Departamento de Energia Nuclear, 50670-901 Recife (PE), Brasil.

(*) Autor correspondente: mauro.g santos@ufpe.br

Recebido: 4/fev./2014; Aceito: 31/mar./2014

Resumo

O presente estudo avaliou o desempenho ecofisiológico das espécies *Zea mays* (milho), *Sorghum bicolor* (sorgo) e *Brachiaria decumbens* (braquiária) sob condições de déficit hídrico em casa de vegetação. O potencial hídrico foliar, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e variáveis bioquímicas do metabolismo fotossintético foram avaliados no máximo estresse e na reidratação. Aos 90 dias após a emergência e sob 21 dias com suspensão da irrigação o milho apresentou a maior redução do potencial hídrico (248%), condutância estomática (87%) e fotossíntese (53%) quando comparado às plantas bem hidratadas. O sorgo apresentou redução de 212%, 42% e 26%, enquanto a braquiária mostrou valores menores em 105%, 36% e 31%, respectivamente para os mesmos parâmetros. Entretanto, dois dias de reidratação foram o suficiente para todas as espécies recuperarem os valores apresentados pelos respectivos controles. A espécie que apresentou a menor queda relacionada aos parâmetros avaliados foi o sorgo, com redução em apenas 4 das 14 variáveis avaliadas, enquanto braquiária e milho reduziram 9 variáveis quando sob seca. O presente estudo destaca que, além da questão econômica, a tomada de decisão por parte de técnicos e pequenos agricultores de quais espécies devem ser utilizadas, sob baixa disponibilidade de tecnologia e alto risco de ocorrência de falta de água, deve-se levar em conta também o desempenho ecofisiológico.

Palavras-chave: *Brachiaria decumbens*, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*, semiárido, tolerância à seca, trocas gasosas.

Ecophysiological performance of maize, sorghum and brachiaria under water deficit and rehydration

Abstract

The present study evaluated the ecophysiological performance of species *Zea mays* (maize), *Sorghum bicolor* (sorghum) and *Brachiaria decumbens* (Brachiaria) under water deficit conditions in a greenhouse. The leaf water potential, gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence and biochemical variables of photosynthetic metabolism were assessed at maximum stress and rehydration. At 90 days after emergence and under 21 days under suspension of irrigation the maize showed the highest reduction of leaf water potential (248%), stomatal conductance (87%) and photosynthesis (53%) when compared to well watered plants. Sorghum decreased by 212%, 42% and 26%, while the brachiaria showed lower values in 105%, 36% and 31%, respectively for the same parameters. However, two days of water supply were enough for all species recover the values showed by the respective controls. The species with the smallest decrease related to the variables evaluated was sorghum, which reduced 4 among 14 variables evaluated, while brachiaria and maize decreased 9 variables when under drought. The present study highlights that beyond economics, decision making by small farmers and technicians, about which species should be used under low availability of technology and high risk of water shortages should take into account also the ecophysiological performance.

Key words: *Brachiaria decumbens*, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*, semiarid, drought tolerance, gas exchanges.

1. INTRODUÇÃO

A decisão de qual o melhor sistema para produção agropecuária é um problema complexo que deve ser considerado sob diversos aspectos (Baldé et al., 2011; Costa et al., 2012; Lara e Pedreira, 2011). A situação em ambientes semiáridos é ainda mais crítica, pois essas regiões estão sujeitas ao déficit hídrico, que é o principal estresse abiótico, responsável por reduzir a produtividade de biomassa em todo o mundo (Chaves e Oliveira, 2004; Turner e Rao, 2013).

No agreste meridional pernambucano é comum encontrar pastagens degradadas e com baixa produtividade de biomassa (Ydoyaga et al., 2006). Desse modo, nas últimas cinco décadas, tem-se intensificado os esforços para o desenvolvimento de um sistema de produção de plantas forrageiras capaz de suprir a demanda dos rebanhos (Moreira et al., 2007). O principal fator limitante do nordeste brasileiro é a baixa e irregular incidência de chuvas, o que restringe o uso de diferentes espécies forrageiras. Em geral se encontram pastagens de braquiária, por ser perene e assim depender menos recursos após a estiagem, devido à rebrota que ocorre caso a seca não seja tão severa (Ydoyaga et al., 2006). Sabe-se que a braquiária, para as condições de sazonalidade de precipitação pluvial, apresenta alta plasticidade para a assimilação de carbono atmosférico (Lara e Pedreira, 2011). Isso determinou o abandono dos cultivos de milho e sorgo para forragem pelos pequenos produtores da região. Por outro lado, essa decisão os deixou vulneráveis em época de forte estiagem, sem alternativa para forragem e muito menos silagem.

Embora o milho seja o terceiro cereal mais cultivado no mundo, essa gramínea se mostra sensível à falta de água (Aydinsakir et al., 2013), o que limita a produção dele para pequenos agricultores que possuem baixa tecnologia. Por outro lado, o sorgo é considerado uma das gramíneas com alta tolerância à seca, além de conseguir explorar camadas mais profundas do solo à procura de água e ter uma elevada produtividade (Sani et al., 2011; Tolk et al., 2013). Seleção de cultivares com retenção da massa verde e outros atributos fitotécnicos tem aumentado a tolerância dessa espécie sob condições de baixa tecnologia (Borghi et al., 2013).

O déficit hídrico pode afetar os vegetais sob diferentes aspectos (Cramer et al., 2011). Milho e sorgo avaliados na região do Mediterrâneo sob seca mostraram vantagens dentre os parâmetros avaliados ao sorgo (Farré e Faci, 2006). A habilidade do sorgo sob condições limitadas de disponibilidade hídrica também foi ressaltada na região do Texas, indicando a cultura como opção de cultivo frente à irregularidade climática atual (Meki et al., 2013), bem como sob alta temperatura na Austrália (Turner e Rao, 2013). Por outro lado, dois estudos sob condições brasileiras com uso de consórcio e rotação de diferentes culturas, entre elas braquiária e milho, garantiram melhores resultados quanto

a produtividade sob baixa tecnologia (Baldé et al., 2011; Costa et al., 2012).

Avaliações ecofisiológicas com diversos parâmetros mensurados ao mesmo tempo sob condições controladas entre espécies forrageiras não são usuais, prevalecendo o estudo sob condições de campo com ensaios competitivos, onde diversos fatores influenciam os resultados, além dos tratamentos impostos (Costa et al., 2012; Davila-Gomez et al., 2011; Farré e Faci, 2006; Mupangwa et al., 2012; Paciullo et al., 2011). Esse tipo de estudo nos permite uma avaliação mais segura, porém não dispensa os ensaios sob condições de campo. No entanto, informações para a região do agreste meridional pernambucano, uma importante bacia leiteira do Nordeste, são pouco conhecidas (Ydoyaga et al., 2006).

Para avaliar o desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob seca foram analisados o potencial hídrico foliar, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, biomassa e variáveis do metabolismo primário, tais como açúcares solúveis, aminoácidos livres e conteúdo de proteína total foliar. O objetivo do trabalho foi avaliar a resposta ecofisiológica de três espécies forrageiras sob condições controladas de seca a fim de propor espécies de ciclo anual como alternativas de produção de biomassa para o rebanho leiteiro do agreste pernambucano. Dessa forma, nossa hipótese é que as novas cultivares de milho e sorgo podem vir a ser competitivas, mesmo sob irregularidade pluviométrica para produção de biomassa e assim o rebanho poderia ser mantido durante o período de estiagem na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação localizada no município de Garanhuns, PE (8°54'20" S; 36°29'44" W), durante os meses de junho a agosto de 2012. Foram avaliadas três espécies forrageiras: *Zea mays* cultivar AG 1051, *Sorghum bicolor* cultivar IPA 467.2 e *Brachiaria decumbens* Stapf. cultivar Basilisk, provenientes do Instituto Agrônomo Pernambucano. O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Riacho do Papagaio, no município de São João, PE (8°52'28" S; 36°21'49" W), e classificado de acordo com Santos et al. (2012) como Neossolo Regolítico.

As características químicas do solo coletado, na camada de 0-20 cm foram: pH em H₂O 5,9; matéria orgânica, 43 g kg⁻¹; carbono orgânico 25 g kg⁻¹; P, 171 mg dm⁻³; K, 4,1 mmol_c dm⁻³; Ca, 1,2 mmol_c dm⁻³; Mg, 0,8 mmol_c dm⁻³; Al³⁺, 0 mmol_c dm⁻³ e H+Al, 3,11 mmol_c dm⁻³. Não foi realizada correção de solo na semeadura das forrageiras, prática comum dos produtores da região, apenas foram acrescentados 80 g de esterco bovino por vaso, dose equivalente utilizada em 1 ha a 20 cm de profundidade, como fonte de nitrogênio. As plantas foram obtidas mediante o plantio direto das sementes em vasos de 10 litros, após o desbaste foi mantida uma planta por vaso. Até os dois meses todas as plantas

foram irrigadas todos os dias com até 720 mL de água, determinados a partir do peso após a mensuração diária da massa dos vasos. Para controle da irrigação foi determinada previamente a capacidade de vaso para o tipo de solo a ser usado no experimento através do método em laboratório descrito por Richards (1947), em que a capacidade de vaso corresponde à água retida no substrato a um potencial de $-0,010$ MPa, bem como o ponto de murcha permanente, a quantidade de água retida a um potencial de $-1,500$ MPa. A partir desse momento houve suspensão total da rega em metade das plantas, sendo a outra metade mantida na capacidade de vaso, perfazendo um total de 60 vasos e uma planta em cada. O experimento teve duração de 92 dias a partir da emergência das plantas. A suspensão da rega ocorreu quando as plantas tinham 69 dias após a emergência e teve duração de 21 dias, quando as plantas atingiram o máximo estresse (ME), e o período de reidratação os dois dias subsequentes. Todas as avaliações foram realizadas no máximo estresse e na reidratação.

Potencial hídrico foliar (ψ_f) foi realizado através da câmara de pressão tipo Schölander (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). As medidas foram realizadas às 5h30 tanto no ME quanto na reidratação. O conteúdo hídrico do substrato de cada vaso foi obtido a uma profundidade de 30 cm com a utilização do Medidor Falker (HFM 2030-Tecnal, BR). No máximo estresse os valores reduziram 70%, 74% e 76%, para o milho, sorgo e braquiária em relação ao controle, respectivamente. No primeiro dia de reidratação não havia qualquer diferença entre os tratamentos.

As medidas de trocas gasosas e fluorescência de clorofila foram realizadas com o analisador de gases portátil por infravermelho (IRGA, LI-COR 6400-XT, Lincon, USA) com câmara de fluorescência (6400-40) com área de 2 cm². Foram realizadas entre 9 h e 11h30 e entre 13h30 e 15 h, de acordo com Santos et al. (2006). O fluxo de fótons fotossintéticos foi 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para o primeiro dia das medidas e para o segundo e terceiro dia 1.800 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. O déficit de pressão de vapor (DPV) no máximo estresse foi 0,5 kPa no período da manhã, e 1,0 kPa à tarde, no primeiro dia da recuperação, 0,6 kPa manhã, e 1,1 kPa tarde, e no segundo dia de reidratação, 0,6 kPa pela manhã.

Em cada um dos tratamentos (ME e RE), folhas totalmente expandidas e sadias foram coletadas e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido, sendo posteriormente armazenadas em freezer -20 °C. Foram determinados o conteúdo foliar de carboidratos solúveis totais (CST), aminoácidos livres totais (ALT), proteínas solúveis totais (PST), clorofilas *a* e *b* (Chl*a* e Chl*b*), e carotenoides (Car), seguindo as metodologias propostas por Bradford (1976), Dubois et al. (1956), Lichtenthaler (1987) e Moore e Stein (1948), respectivamente. Todas essas análises foram determinadas com espectrofotômetro modelo Genesys 10s UV – Vis, marca ThermoScientific, ajustado ao comprimento de onda específico para cada composto orgânico.

A biomassa da parte aérea (folhas e colmo) e o sistema radicular foram analisados no máximo estresse. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel, mantidos em estufa de ventilação forçada a 60 °C até atingirem peso constante, sendo posteriormente pesados em balança de precisão (AND HR-200, Tóquio, JP).

O experimento foi conduzido em esquema fatorial ($2 \times 3 \times 20$), sendo: dois regimes hídricos (controle mantido sempre na capacidade de vaso e déficit hídrico por suspensão total da rega), três espécies e 20 repetições. O potencial hídrico e a biomassa foram analisados pelo teste *T*. Os demais parâmetros foram submetidos à análise de variância (ANOVA fatorial), tendo como interação (regime hídrico x turno do dia), e quando necessário as médias foram comparadas pelo teste de Student Newman Keul's (0,05). O programa estatístico usado foi o Statistica 8.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ψ_{foliar} do milho, sorgo e braquiária reduziu 248%, 212% e 105% após 21 dias de seca em relação ao controle hidratado, respectivamente. Quando as três espécies foram reidratadas, após 2 dias o ψ_{foliar} foi recuperado em relação ao controle ($p > 0,05$) (Figura 1b). Os dias com baixo déficit de pressão de vapor proporcionaram um estresse lento, porém severo, atingindo $-1,8$ MPa em folhas do milho. Por outro lado as plantas foram capazes de se recuperar com rapidez após a reidratação de forma semelhante quanto a esse parâmetro. O sorgo é a única espécie entre as três capaz de fazer ajustamento osmótico durante o déficit hídrico, e por isso apresenta alta tolerância (Mutava et al., 2011). No entanto, estudo com milho cultivado por semeadura convencional concluiu que há ajustamento osmótico sob déficit hídrico (Bianchi et al., 2005). Além disso, Hajlaoui et al. (2010) verificaram ajustamento no metabolismo radicular de milho quando sob estresse salino. Se avaliado somente esse parâmetro, a braquiária parece ser a melhor opção para regiões áridas e semiáridas, pois manteve o tecido foliar com maior conteúdo hídrico apesar da reduzida umidade do solo.

Se comparada com as plantas bem hidratadas, o milho sob seca reduziu a assimilação de CO_2 (*A*) em 53% de manhã e 66% à tarde no ME (Figura 2a). Apesar de que no mesmo período a *g_s* decresceu 87% e 89%, respectivamente, o que proporcionou decréscimo da *E* 84% e 86% nos mesmos horários, a eficiência do uso da água (*EUA*) aumentou 195% de manhã e 156% à tarde no ME (Figuras 2b-d). A partir do primeiro dia de recuperação todos os parâmetros das trocas gasosas do milho apresentaram recuperação se comparado ao controle ($p > 0,05$). As plantas de sorgo sob déficit hídrico reduziram *A* 26%, *g_s* 48% e *E* 31% no período da tarde no ME se comparada ao respectivo controle (Figuras 2e-g). A *EUA* não aumentou nas plantas sob estresse, exceto no

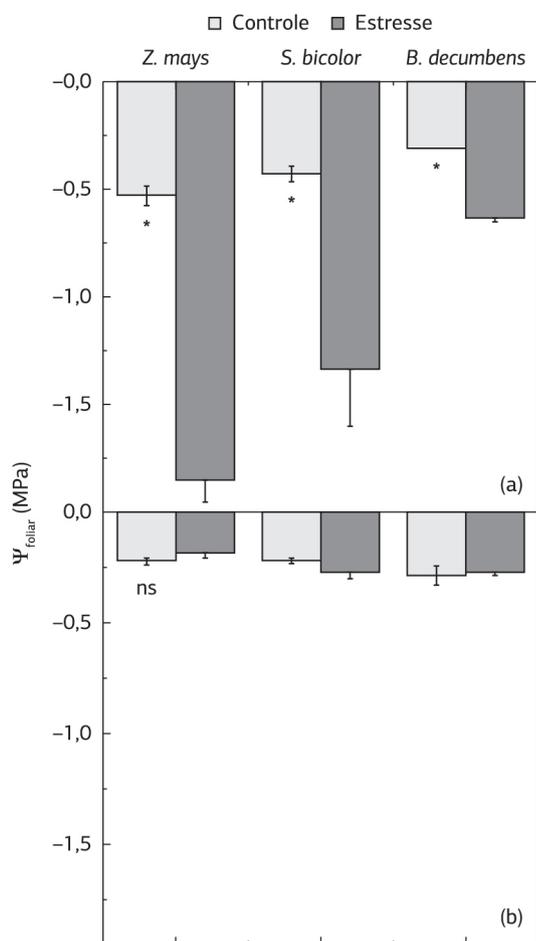


Figura 1. (a) Potencial hídrico foliar (Ψ_{foliar}) no máximo estresse, 21 dias após a suspensão da irrigação do *Z. mays* (milho), *S. bicolor* (sorgo) e *B. decumbens* (braquiária); (b) Dois dias após a reidratação; em ambos os dias as mensurações foram realizadas antes do amanhecer; os valores representam média \pm erro padrão de quatro repetições; valores seguidos de *, dentro da mesma espécie, diferiram significativamente pelo teste de Student Newman Keul's (0,05); ns = sem diferença, não significativo.

máximo estresse no período da manhã (Figura 2h). Nessa espécie, a recuperação dos parâmetros de trocas gasosas foi obtida após 48 horas. A braquiária sob seca reduziu no máximo estresse, se comparada ao controle bem hidratado, A 31% e 67%, g_s 36% e 81%, E 24% e 75%, manhã e tarde respectivamente (Figuras 2i-k). A EUA não foi alterada de forma acentuada (Figura 2l). As plantas de sorgo no horário de menor DPV (manhã) mesmo sob estresse apresentaram valores semelhantes ao controle ($p > 0,05$), demonstrando eficiência do seu maquinário fotossintético sob restrição hídrica. Em gramíneas com restrição hídrica sob condições de casa de vegetação a recuperação da hidratação dos tecidos ocorreu após 24 horas da reidratação seguida de rápida recuperação de g_s (Ghannoum et al., 2003). Ao contrário do que se esperava, a braquiária foi a única espécie a não recuperar as trocas gasosas após 48 horas de reidratação, apesar de ter apresentado o maior potencial hídrico foliar no ME.

Limitada disponibilidade hídrica no solo em geral faz as espécies reduzirem a condutância estomática, o que leva a menor assimilação de CO_2 . No entanto, pode proporcionar aumento do uso da água naquelas espécies com características suficientes para proporcionar tal comportamento (Chaves e Oliveira, 2004). Os maiores valores de EUA foram observados em plantas de milho, que apresentaram valores baixos de A se comparado às demais espécies que são C_4 . Embora nenhuma das espécies apresentasse deficiência visual de nutrientes, principalmente nitrogênio, o solo local usado em área de pastagem pode ser desvantajoso para o milho, que é a espécie mais exigente em nutrição mineral se comparada às outras duas espécies (Fonte et al., 2014; Mupangwa et al., 2012; Ydoyaga et al., 2006).

Devido à menor radiação e o baixo déficit de pressão de vapor no horário da manhã durante o ME os parâmetros de fluorescência da clorofila não apresentaram comportamento contrastante entre controle e estresse, exceto a braquiária nas variáveis eficiência quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e *quenching* fotoquímico (qP) (Figuras 3i-j). Além disso, todas as espécies apresentaram menor taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) no período da manhã nas plantas estressadas (Figuras 3d-h-l). No entanto, no período da tarde as plantas de sorgo e braquiária mostraram plasticidade da parte fotoquímica, não havendo diferença entre controle e estressado ($p > 0,05$) em nenhuma variável (Figuras 3e-l), entretanto, o milho sob seca reduziu qP 54%, ETR 73%, exceto o *quenching* não fotoquímico NPQ (Figuras 3a-d). A mensuração de F_v/F_m após as folhas serem recuperadas no escuro confirma a plasticidade da parte fotoquímica do sorgo e braquiária, enquanto o milho não mostrou recuperação em ambos os horários, manhã 21% e tarde 10% (Figuras 3a-c). Plantas que apresentam valores de F_v/F_m abaixo de 0,75 estão sujeitas a algum fator estressante e redução da eficiência quântica máxima do PSII (Tezara et al., 2005). Embora o milho tenha mostrado sensibilidade ao déficit hídrico, por outro lado não ocorreram danos irreversíveis nem efeitos fotoinibitórios, pois na reidratação os valores de F_v/F_m se recuperaram em relação ao controle ($p > 0,05$), tal como nas outras espécies. Quanto ao conteúdo foliar dos pigmentos fotossintéticos, clorofilas a , b e carotenóides, milho e sorgo não apresentaram diferença entre controle e estresse ($p > 0,05$), no entanto a braquiária mostrou menores valores na recuperação quando comparada ao controle ($p < 0,05$) (dados não mostrados). Por ser importante na captação de fótons e transporte de elétrons, a queda nos teores de clorofila refletiu na assimilação de CO_2 por essa espécie após a reidratação, sendo menor que nas plantas bem hidratadas.

No ME as plantas de milho apresentaram no início da manhã valor de CST 131% maior se comparadas ao controle ($p < 0,05$), o que se repetiu na recuperação (Figura 4a). Quanto aos ALT, o milho acumulou maior conteúdo pela manhã (86%) ($p < 0,05$), no entanto à tarde apresentou o menor conteúdo, com 50% de redução ($p < 0,05$) se comparado às

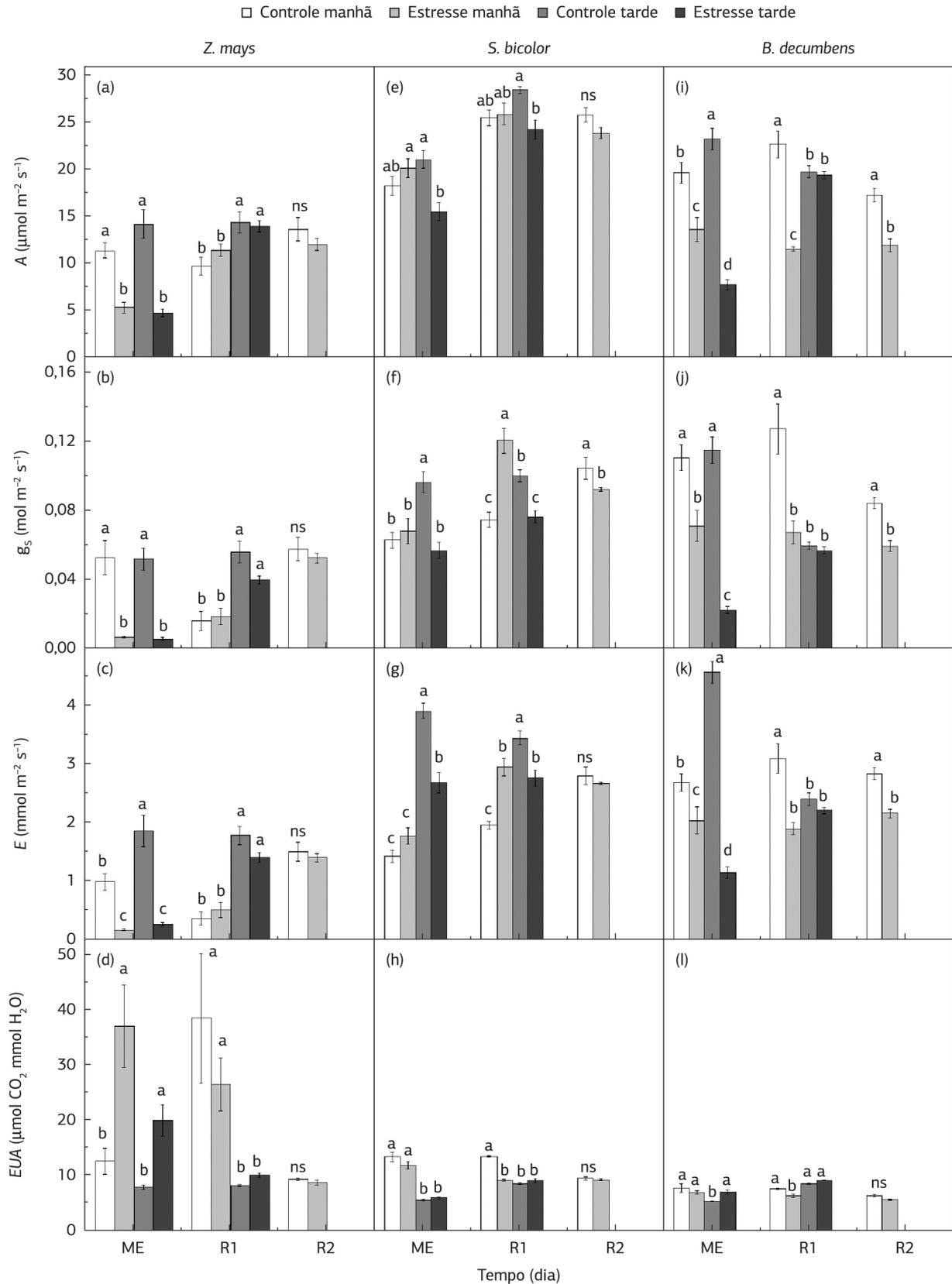


Figura 2. Trocas gasosas das espécies *Z. mays* (milho), *S. bicolor* (sorgo) e *B. decumbens* (braquiária); as mensurações foram realizadas aos 21 dias após a suspensão da irrigação, no máximo estresse (ME), e nos dois dias subsequentes de reidratação, R1 e R2; assimilação de CO_2 (A) (a, e, i); condutância estomática (g_s) (b, f, j); transpiração (E) (c, g, k); eficiência do uso da água (EUA) (d, h, l); os valores representam média \pm erro padrão de quatro repetições; valores seguidos por letra diferente dentro da mesma espécie diferiram significativamente pelo teste de Student Newman Keul's (0,05); ns = sem diferença, não significativo.

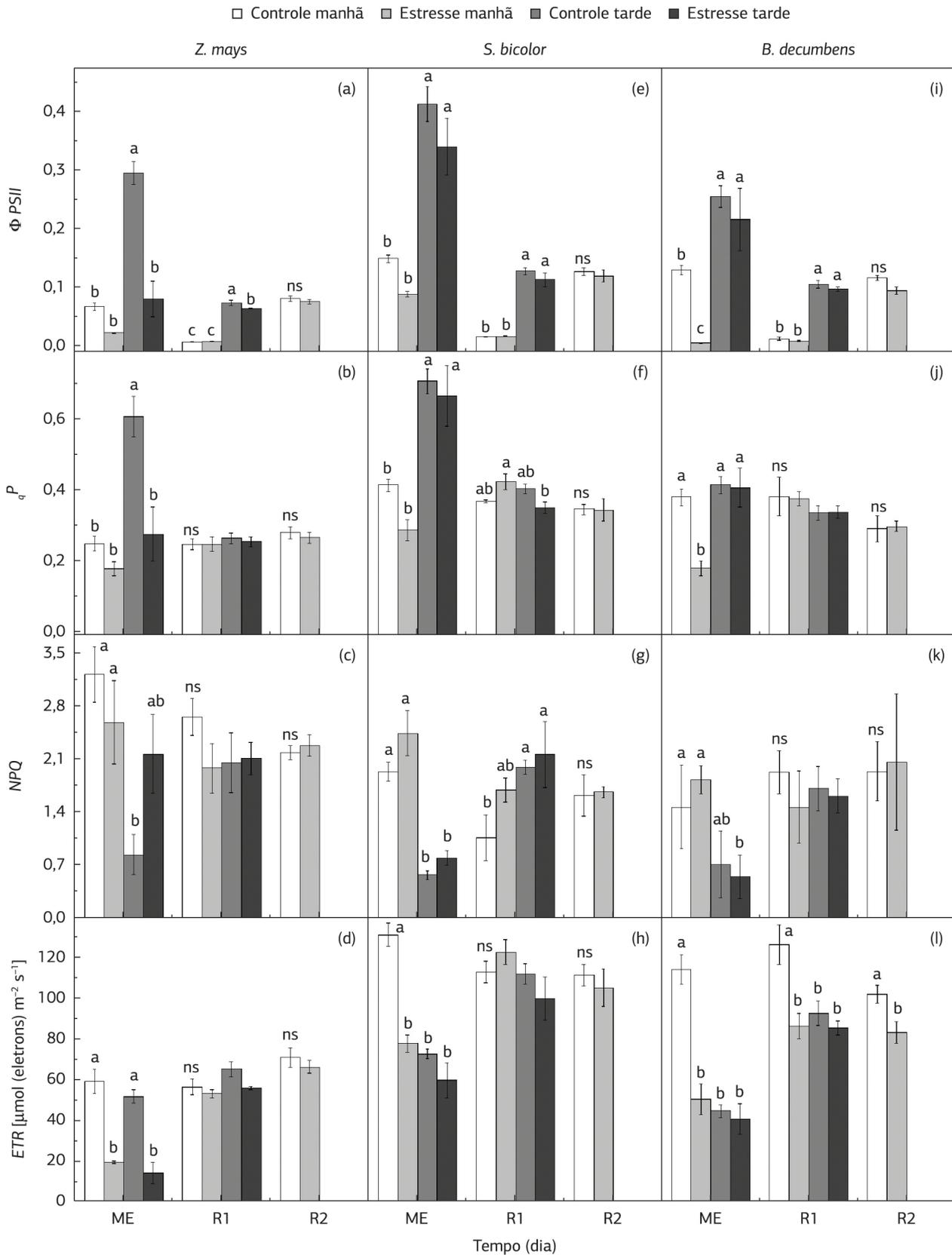


Figura 3. Fluorescência da clorofila *a* das espécies *Z. mays* (milho), *S. bicolor* (sorgo) e *B. decumbens* (braquiária); as mensurações foram realizadas aos 21 dias após a suspensão da irrigação, máximo estresse (ME), e nos dois dias subsequentes de reidratação, R1 e R2; eficiência do fotossistema II (Φ_{PSII}) (a, e, i); *quenching* fotoquímico (P_q) (b, f, j); *quenching* não fotoquímico (NPQ) (c, g, k); taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) (d, h, l); os valores representam média \pm erro padrão de quatro repetições; valores seguidos por letra diferente dentro da mesma espécie diferiram significativamente pelo teste de Student Newman Keul's (0,05); ns = sem diferença, não significativo.

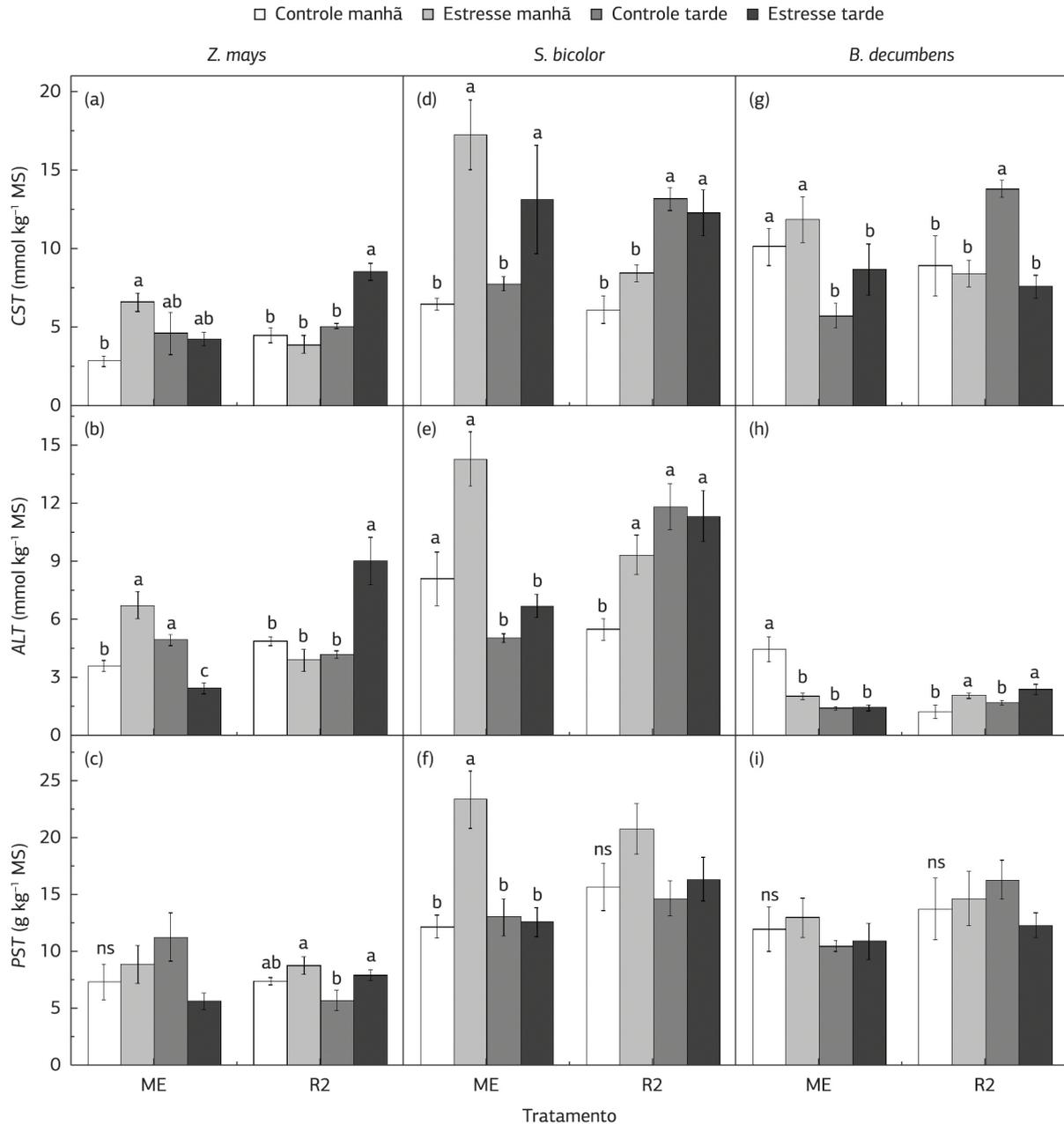


Figura 4. Variáveis do metabolismo primário foliar das espécies *Z. mays* (milho), *S. bicolor* (sorgo) e *B. decumbens* (braquiária); as mensurações foram realizadas aos 21 dias após a suspensão da irrigação, máximo estresse (ME), e dois dias após a reidratação, R2; carboidratos solúveis totais (CST) (a, d, g); aminoácidos livres totais (ALT) (b, e, h); proteínas solúveis totais (PST) (c, f, i); os valores representam média \pm erro padrão de seis repetições; valores seguidos por letra diferente dentro da mesma espécie diferiram significativamente pelo teste de Student Newman Keul's (0,05); ns = sem diferença, não significativo.

plantas bem hidratadas (Figura 4b). A variação dos ALT não foi seguida pela PST no ME se comparado controle e estresse para essa variável ($p > 0,05$) (Figura 4c). No entanto, o aumento do conteúdo de ALT após a reidratação foi acompanhado por maior valor de PST em relação às plantas controle ($p < 0,05$). O conteúdo foliar de CST nas plantas de sorgo foi 166% maior ($p < 0,05$) no período da manhã e 69% à tarde nas plantas estressadas quando comparadas ao controle (Figura 4d). Dois dias após o início da reidratação não houve diferença entre controle e estresse ($p > 0,05$). Por

outro lado, o sorgo apresentou o maior conteúdo foliar de ALT (98%) no ME pela manhã se comparado ao controle, não havendo diferença acentuada entre os tratamentos na recuperação, comportamento este semelhante apresentado para o conteúdo de PST, 92% maior para a mesma espécie (Figuras 4e, f). Quanto à braquiária, o tratamento sob estresse apresentou maior conteúdo foliar somente de ALT (40%) após dois dias de reidratação nos dois horários avaliados (Figuras 4g-i) se comparada ao controle.

Tabela 1. Massa seca da parte aérea e raiz (g) de plantas *Z. mays* (milho), *S. bicolor* (sorgo) e *B. decumbens* (braquiária), após 21 dias de suspensão da irrigação, no máximo estresse sob condições de casa de vegetação; o início do estresse se deu 60 dias após a emergência⁽¹⁾

Espécies	Tratamento hídrico			
	Controle		Déficit hídrico	
	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz
Milho	40,6±1,0*	10,9±2,0 ^{ns}	23,7±1,1	09,8±0,7
Sorgo	24,9±1,5*	07,1±0,8*	15,8±0,6	12,6±0,3
Braquiária	15,7±1,5*	08,7±1,3 ^{ns}	09,3±0,3	11,6±1,2

⁽¹⁾Os valores são média de quatro repetições (±erro padrão); médias seguidas de *denotam diferença entre valores dentro da mesma espécie (0,05); ^{ns}=não significativo.

As três espécies estudadas apresentaram comportamento diferente quanto ao conteúdo foliar de variáveis do metabolismo primário. Avaliar ao mesmo tempo o metabolismo fotossintético de plantas sob estresse, considerando diferentes aspectos, pode nos assegurar um cenário mais claro quanto à plasticidade e tolerância dessas espécies ao fator estressante. Além das trocas gasosas e fluorescência da clorofila medidas in vivo, os efeitos do déficit hídrico em plantas pode ser mensurado a partir de metabólitos foliares.

O conteúdo de carboidratos não estruturais pode atuar como sinalizador de estresse (Farrar et al., 2000), estabilizador de proteínas e membranas e contribui para o ajustamento osmótico (Rolland et al., 2006). Atualmente o papel dos açúcares dentro do metabolismo celular tem sido considerado estratégico em relação ao controle do estresse oxidativo em decorrência do estresse imposto, além disso, retrorregulando o metabolismo fotossintético a partir do seu conteúdo foliar (Rolland et al., 2006). As plantas de milho entre as três espécies são consideradas as mais sensíveis à seca; no ME o milho acumulou um alto teor de CST no período da manhã, o que poderia indicar uma menor respiração noturna de crescimento nas plantas estressadas, evidenciada pelo acúmulo de ALT nessa espécie sem haver alteração no conteúdo de PST, indicativo de baixo uso para síntese de biomassa. Apesar de apresentar uma queda drástica na assimilação no período da manhã no ME, o aumento no teor de CST demonstra que não houve prejuízo para o ciclo de Calvin, possivelmente devido ao metabolismo C_4 . No entanto, as plantas de braquiária pouco alteraram o conteúdo de CST e PST, apenas acumulando maior conteúdo de ALT na recuperação. Ao contrário do milho e braquiária, o sorgo confirmou sua capacidade de ajustamento dos metabólitos acumulando maior CST nos dois horários do ME, e apresentando o maior conteúdo de ALT entre as três espécies no ME, seguido de alto conteúdo de PST, indicativo que o acúmulo de ALT não foi resultado da degradação de proteínas.

Outra evidência da plasticidade do desempenho do sorgo forrageiro diante das outras duas espécies é o comportamento da biomassa dessa espécie (Tabela 1). Entre as três espécies

foi o sorgo que também menos reduziu a parte aérea em relação ao controle 36%, contra 45% e 44% do milho e braquiária, respectivamente. Já para o sistema radicular, o maior aumento foi observado no sorgo, com 46%, contra 0% do milho e 25% da braquiária, sempre comparando ao respectivo controle hidratado. Um futuro estudo sob condições de campo, com estas cultivares, poderá avaliar a plasticidade das três espécies quanto aos parâmetros avaliados.

4. CONCLUSÃO

As três espécies estudadas apresentam desempenho ecofisiológico diferente quando sob disponibilidade hídrica limitada. Por apresentar as maiores taxas fotossintéticas e balanço de biomassa favorável, o sorgo é a espécie que apresenta a melhor performance ecofisiológica sob restrição hídrica dentre as espécies avaliadas neste estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro ao projeto Pronem (Proc. CNPq/APQ-1178-3.01/10). Orlando O. Santos é grato à FACEPE pela bolsa de mestrado concedida para realização deste estudo. M. G. Santos, J. R. S. Lima e A. C. D. Antonino são gratos ao CNPq pelas bolsas produtividade. Os autores gostariam de agradecer também ao Instituto Agrônomo de Pernambucano pela concessão das sementes das espécies usadas. Bem como ao Prof. Dr. Antônio P. M. Fernandes pela concessão de solo e auxílio na discussão prévia à instalação do experimento.

REFERÊNCIAS

- AYDINSAKIR, K.; ERDAL, S.; BUYUKTAS, D.; BASTUG, R.; TOKER, R. The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. *Agricultural Water Management*, v.128, p.65-71, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.013>
- BALDÉ, A.B.; SCOPEL, E.; AFFHOLDER, F.; CORBEELS, M.; SILVA, F.A.M.; XAVIER, J.H.V.; WERY, J. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. *Field Crops Research*, v.124, p.240-251, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.017>
- BIANCHI, C.A.M.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A. Ajuste osmótico em milho cultivado em diferentes sistemas de manejo de solo e disponibilidade hídrica. *Pesquisa*

- Agropecuária Brasileira, v.40, p.645-651, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000700004>
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; SOUSA, V. V.; MARTINS, P.O.; MATEUS, G.P.; COSTA, C. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy*, v.51, p.130-139, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.006>
- BRADFORD, M.M. Rapid and quantitative method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, p.284-252, 1976. [http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, v.55, p-2365-2384, 2004.
- COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R.D.A.; PARIZ, C.M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.1038-1047, 2012 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000800003>
- CRAMER, G.R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*, v.11, p.163-177, 2011. PMID:22094046 PMCID:PMC3252258. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2229-11-163>
- DAVILA-GOMEZ, F.J.; CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZ-CARRILLO, E.; ROONEY, W.L.; SERNA-SALDIVAR, S.O. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). *Industrial Crops and Products*, v.33, p.611-616, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.022>
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REDERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v.28, p.350-356, 1956. <http://dx.doi.org/10.1021/ac60111a017>
- FARRAR, J.; POLLOCK, C.; GALLAGHER, J. Sucrose and the integration of metabolism in vascular plants. *Plant science*, v.154, p.1-11, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00260-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00260-5)
- FARRÉ, I.; FACI, J.M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, v.83, p.135-143, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.001>
- FONTE, S.J.; NESPER, M.; HEGGLIN, D.; VELÁSQUEZ, J.E.; RAMIREZ, B.; RAO, I.M.; BERNASCONI, S.M.; BÜNEMANN, E.K.; FROSSARD, E.; OBERSON, A. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.68, p.150-157, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.025>
- GHANNOUM, O.; CONROY, J.P.; DRISCOLL, S.P.; PAUL, M.J.; FOYER, C.H.; LAWLOR, D.W. Non stomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. *New Phytologist*, v.159, p.599-608, 2003. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00835.x>
- HAJLAOUI, H.; AYEYB, N.; GARREC, J.P.; DENDEN, M. Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties. *Industrial Crops and Products*, v.31, p.122-130, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.09.007>
- LARA, M.A.S.; PEDREIRA, C.G.S. Estimativa da assimilação vazonal de carbono em dosséis de espécies de braquiária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.743-750, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000700010>
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, v.148, p.350-382, 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- MEKI, M.N.; KEMANIAN, A.R.; POTTER, S.R.; BLUMENTHAL, J.M.; WILLIAMS, J.R.; GERIK, T.J. Cropping system effects on sorghum grain yield, soil organic carbon, and global warming vazonal in central and south Texas. *Agricultural Systems*, v.117, p.19-29, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.01.004>
- MOORE, S.; STEIN, W.H. Photometric ninhydrin method for use in the chromatography of amino acids. *The Journal of Biological Chemistry*, v.176, p.367-388, 1948. PMID:18886175.
- MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARAÚJO, G.G.L.; SILVA, G.C. Vazonal de produção de capim Buffel na época seca no semi-árido pernambucano. *Revista Caatinga*, v.20, p.20-27, 2007.
- MUPANGWA, W.; TWOMLOW, S.; WALKER, S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions. *Field Crops Research*, v.132, p.139-148, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.020>
- MUTAVA, R.N.; PRASAD, P.V.V.; TUINSTRAN, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.006>
- PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.D.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.D.F.Á.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, v.141, p.166-172, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>
- RICHARDS, L.A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. *Agronomy Engineering*, v.28, p.451-454, 1947.
- ROLLAND, F.; BAENA-GONZALEZ, E.; SHEEN J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Annual review of plant biology*, v.57, p.675-709, 2006. PMID:16669778. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441>
- SANI, B.M.; DANMOWA, N.M.; SANI, Y.A.; JALIYA, M.M. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria Niger. *Journal of Basic and Applied Science*, v.19, p.253-259, 2011.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.683-696, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300001>

SANTOS, M.G.; RIBEIRO, R.V.; OLIVEIRA, R.F.; MACHADO, E.C.; PIMENTEL, C. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Science*, v.170, p.659-664, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.10.020>

TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTÍNEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. *Photosynthetica*, v.43, p.37-45, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-005-7045-5>

TOLK, J.A.; HOWELL, T.A.; MILLER, F.R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. *Field Crops Research*, v.145, p.44-51, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.02.006>

TURNER, N.C.; RAO, K.P.C. Simulation analysis of factors affecting sorghum yield at selected sites in eastern and southern Africa, with emphasis on increasing temperatures. *Agricultural Systems*, v.121, p.53-62, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.06.002>

YDOYAGA, D.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SILVA, M.C.; SANTOS, V.E.; FERNANDES, A.P.M. Recovery methods of *Brachiaria decumbens* Stapf. pastures in the Agreste region of Pernambuco State. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.699-705, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000300010>