



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA: PRODUÇÃO VEGETAL



JHULYANNE CHRISTINY MARCELINO DOS SANTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**CRESCIMENTO INICIAL E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE GENÓTIPOS
DE CAPIM-ELEFANTE SOB ESTRESSE HÍDRICO EM COMPARAÇÃO À
CANA-DE-AÇÚCAR**

RIO LARGO - AL

2019

JHULYANNE CHRISTINY MARCELINO DOS SANTOS

**CRESCIMENTO INICIAL E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE GENÓTIPOS
DE CAPIM-ELEFANTE SOB ESTRESSE HÍDRICO EM COMPARAÇÃO À
CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à
coordenação do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia:
Produção Vegetal, CECA/UFAL,
como requisito para obtenção do
título de Mestre em produção
vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres

Co-orientador: Pesq. Dr. Anderson Carlos Marafon

RIO LARGO - AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

S237c Santos, Jhulyanne Christiny Marcelino dos

Crescimento inicial e respostas fisiológicas de genótipos de capim-elefante sob estresse hídrico em comparação à cana-de-açúcar. Rio Largo-AL – 2019.

60 f.; il; 33 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.

Orientador(a): Prof. Dr. Laurício Endres.

Coorientadora: Prof. Pesq. Dr. Anderson Carlos

Marafon.

1. Pennisetum purpurem Schum. 2. Estresse hídrico. 3. Trocas gasosas I. Título.

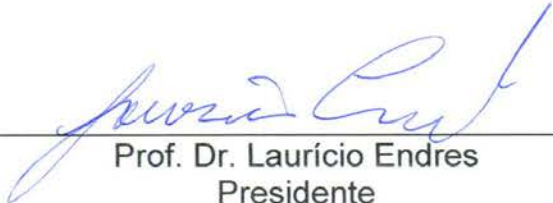
CDU: 633.61: 633.2

TERMO DE APROVAÇÃO


JHULYANNE CHRISTINY MARCELINO DOS SANTOS (Matrícula 17130208)

“Crescimento inicial e respostas fisiológicas de genótipos de capim-elefante sob estresse hídrico em comparação à cana-de-açúcar”

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e um de fevereiro de 2019, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



Prof. Dr. Laurício Endres
Presidente



Prof.ª Dr.ª Vilma Marques Ferreira
Membro



Dr.ª Claudiana Moura dos Santos
Membro

Rio Largo - AL
Fevereiro/2019

*Aos meus queridos pais, José Carlos dos Santos e Gercina Marcelino da Conceição;
e irmãos, Jonathan Charles, Jhenyfen Chris, Jhones Steffanny e
Jhullya Chrysley; por todo amor e companheirismo;
A todos os meus amigos irmãos.*

Enfim, a toda minha Família, fonte de apoio e inspiração para seguir em frente.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus e a nossa senhora do Pilar, me ajudaram a superar as dificuldades enfrentadas durante o mestrado!

Aos meus pais e irmãos, por acreditarem na minha determinação. Isso me encorajou o suficiente pra enfrentar essa árdua, porém gratificante jornada.

À Universidade Federal de Alagoas, pela realização do sonho em me tornar Mestre em Agronomia.

A Coordenação de pessoal de Ensino Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, pelo suprimento físico e logístico, proporcionando-me a satisfação de realizar o que “sonhei” para o mestrado.

Ao orientador Prof. Dr. Laurício Endres, pela oportunidade concedida, apoio, paciência e ensinamentos. Suas constantes cobranças foram fundamentais para o meu crescimento, sem dúvidas!

Aos colegas e companheiros do Laboratório de Fisiologia Vegetal por compartilharem comigo momentos de descontração e labuta, Poly, Isabella, Juliana, Claudiana, Paulo, André, Rafael, Adenilton e Elenilton. Enfim, a todos!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia do CECA/UFAL, em especial àqueles com quem tive a honra de cursar disciplinas.

As “meninas da limpeza” dona Ciça, Carla e Simone, pela manutenção da limpeza no laboratório e sala de estudos.

Aos grandes amigos conquistados durante a graduação e Pós-graduação, e a todos que participaram de forma direta ou indireta da minha vida no CECA/UFAL.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

*“... A mente que se abre a uma nova ideia
Jamais voltará ao seu tamanho original...”*

(Albert Einstein)

RESUMO:

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) são espécies com elevado potencial na produção de biomassa para bioenergia, além disso, o capim-elefante pode se desenvolver em solos pobres em nutrientes, possibilitando uso de áreas marginais à agricultura tradicional. Porém, uma das dificuldades no uso do capim-elefante é a sua baixa tolerância a longos períodos de seca, muito comuns em áreas semiáridas da região Nordeste do Brasil. Diante disso, esse trabalho teve como objetivo comparar o crescimento inicial de capim-elefante e a cana-de-açúcar RB92579 e suas características fisiológicas quanto à tolerância ou susceptibilidade às condições de deficiência hídrica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2 onde tivemos: quatro genótipos de capim-elefante (cultivar BRS Capiacu e 3 clones Madeira, Venezuela e Pasto Panamá), e um de cana-de-açúcar (RB92579). e dois níveis de água disponíveis no solo distribuídos em seis blocos tendo uma repetição por bloco, totalizando 60 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por um vaso contendo 100 kg de solo em que foi plantado uma planta. Os regimes hídricos foram: tratamento controle (> 80% da água disponível no solo – AD), e estresse (suspensão total da irrigação). As plantas tiveram seu crescimento acompanhado até 68 dias após o plantio sendo avaliada as características morfológicas: altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar. Após esse período se deu início a implantação dos tratamentos hídricos com suspensão total da irrigação. Quando as plantas atingirem o estresse máximo, foram reidratadas. Foram analisadas as seguintes características fisiológicas: teor relativo de água, trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática, transpiração e concentração interna de gás carbônico) e eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) e a eficiência quântica efetiva do PSII (ΦPSII). De modo geral, os genótipos de capim-elefante apresentaram comportamento de crescimento vegetativo semelhante na maioria das suas características morfológicas, apesar do genótipo Pasto Panamá ter apresentado maior altura da planta, Venezuela maior comprimento da folha +3 e o BRS Capiacu o maior número de perfilhos. Os genótipos de capim-elefante têm crescimento inicial maior que a cana-de-açúcar, apresentando maiores números de folhas e perfilho, diâmetro do colmo, altura de planta e área foliar, resultando em um maior acúmulo de biomassa da cana-de-açúcar aos 68 dias após o plantio. Os genótipos Pasto Panamá e Venezuela possuem características fisiológicas de maior susceptibilidade à seca. As estratégias desencadeadas pelo genótipo BRS Capiacu, como menores reduções do teor relativo de água na folha, condutância estomática, transpiração, fotossíntese e eficiência fotoquímica efetiva em condições de estresse hídrico proporcionam ao mesmo, melhor capacidade de tolerância à seca.

Palavras chave: *Pennisetum purpureum* Schum. Estresse hídrico. Trocas gasosas.

ABSTRACT:

Elephant grass (*Pennisetum purpurem* Schum.) And sugarcane (*Saccharum* spp.) Are species with high biomass production potential for bioenergy, and elephantgrass can develop on nutrient-poor soils, making it possible to use marginal areas to traditional agriculture. However, one of the difficulties in using elephantgrass is its low tolerance to long periods of drought, which are very common in semi-arid areas of Northeastern Brazil. The objective of this work was to compare the initial growth of elephant grass and sugarcane RB92579 and its physiological characteristics regarding tolerance or susceptibility to water deficit conditions. The experiment was conducted in a greenhouse of the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Alagoas. The experimental design was a randomized complete block design in a 5x2 factorial scheme, with four elephantgrass genotypes (BRS Capiaçú cultivar and 3 Madeira, Venezuela and Pasto Panama clones) and one sugarcane (RB92579). and two levels of water available in the soil distributed in six blocks having one repetition per block, totaling 60 experimental plots. Each plot was composed of a pot containing 100 kg of soil in which a plant was planted. The water regimes were: control treatment (> 80% of available water in the soil - AD), and stress (total suspension of irrigation). The plants had their growth accompanied up to 68 days after the planting, being evaluated the morphological characteristics: plant height, number of leaves, stem diameter, leaf area. After this period, the implantation of the water treatments with total suspension of irrigation began. When the plants reached maximum stress, they were rehydrated. (Photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and internal carbon dioxide concentration) and the maximum photochemical efficiency of photosystem II (F_v / F_m) and the effective quantum efficiency of PSII (Φ_{PSII}) . In general, elephantgrass genotypes presented similar vegetative growth behavior in most of their morphological characteristics, although the genotype Pasto panamá showed higher plant height, Venezuela had a longer leaf length +3 and BRS Capiaçú had the highest number of plants tiller. The elephantgrass genotypes showed higher initial growth than sugarcane, presenting higher numbers of leaves and tillers, stem diameter, plant height and leaf area, resulting in a greater accumulation of sugarcane biomass 68 days after planting. The genotypes Pasto Panama and Venezuela have physiological characteristics of greater susceptibility to drought. The strategies triggered by the BRS Capiaçú genotype, such as lower reductions in relative leaf water content, stomatal conductance, transpiration, photosynthesis and effective photochemical efficiency in water stress conditions, provide better drought tolerance.

Key words: *Pennisetum purpurem* Schum. Drought stress. Gas exchanges.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Temperatura e umidade do ar (A), radiação solar e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), registrados durante o período de supressão hídrica e reidratação. **26**
- Figura 2.** Monitoramento do teor de umidade no solo (%) durante o período dos tratamentos hídricos: controle e estresse. As barras verticais indicam o erro padrão da média. **26**
- Figura 3.** N° de folhas (A), N° de perfilhos (B), diâmetro do colmo (C), Altura da planta (D), comprimento da F+3 (E), Largura da F+3 (F) e área foliar (G), de genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579) no período de 39 aos 68 dias após o plantio (DAP). **33**
- Figura 4.** Teor relativo de água na folha em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579) sob diferentes tratamentos hídricos: controle, estresse e reidratação. **34**
- Figura 5.** Condutância estomática em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de condutância estomática em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J). **36**
- Figura 6.** Transpiração em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação da transpiração em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J). **37**
- Figura 7.** Concentração interna de CO₂ em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de concentração interna de CO₂ em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J). **39**
- Figura 8.** Fotossíntese em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de Fotossíntese em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J). **40**
- Figura 9.** Eficiência fotoquímica máxima do PSII - Fv/Fm em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de FV/FM em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J). **42**

Figura 10. Rendimento efetivo do PSII - Φ PSII em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de Φ PSII em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J). **43**

Figura 11. Massa seca de folha (A), de colmos (B), de raiz (C) e total (D), em cultivares de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579) ao final do experimento. **44**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da análise físico-química e pH do solo utilizado no experimento.	25
---	-----------

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE 1.** Vista parcial do experimento no dia do transplante das mudas 15 DAP (A); transplante das mudas nas bombonas (B). **58**
- APÊNDICE 2.** Vista parcial do experimento aos 60 DAP. **58**
- APÊNDICE 3.** Percentual de reduções diárias das variáveis fisiológicas: condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (C_i), eficiência fotoquímica efetiva (Φ PSII) e eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) em condições de estresse máximo, quando comparadas com o ponto zero (primeiro dia do estresse), de capim elefante e cana-de-açúcar (A e B). **59**

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Sigla/símbolo	Descrição	Unidade
A	Taxa fotossintética	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
AF	Área foliar	$\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$
AP	Altura de planta	cm
ATP	Adenosina trifosfato	
C	Tratamento Controle (irrigação adequada)	
C4	Metabolismo fotossintético que tem como primeiro produto estável da fotossíntese, um composto de 4 carbonos	
CAD	Capacidade de água disponível no solo	%
Ci	Concentração intracelular de CO ₂	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
CO ₂	Dióxido de carbono	
E	Transpiração	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Fv	Fluorescência variável	Unidade relativa
Fv/Fm	Eficiência fotoquímica máxima do PSII	Unidade relativa
gs	Condutância estomática	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
IRGA	(infrared gas analyzer) analisador de gás por infravermelho	
MSC	Massa seca de colmo	g planta^{-1}
MSF	Massa seca de folha	g planta^{-1}
MSPA	Massa seca da parte aérea	g planta^{-1}
PSII	Fotossistema II	
TRA	Teor relativo de água	%
ΦPSII	Rendimento efetivo do PSII	Unidade relativa

Sumário

RESUMO:	vii
ABSTRACT:	viii
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Aspectos gerais e importância econômica de gramíneas.....	17
2.2. O capim-elefante e seu potencial energético	18
2.3. Estresse por déficit hídrico e mecanismos morfofisiológicos de plantas sob déficit hídrico:.....	20
2.3.1. Crescimento e produtividade do capim-elefante em ambientes secos;.....	21
2.3.2. Teor relativo de água na folha.....	22
2.3.3. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Material vegetal e condições experimentais	25
3.2. Avaliações biométricas	27
3.3. Características fisiológicas	28
3.3.1. Teor Relativo de água (TRA).....	28
3.3.2. Trocas gasosas.....	28
3.3.3. Eficiência Fotoquímica	29
3.4. Massa Seca da Planta	29
3.6. Análises estatísticas	30
4. RESULTADOS	31
4.1. Análises biométricas	31
4.2. Avaliações fisiológicas	34
5. DISCUSSÃO	45
5.1. Caracterização morfológica de genótipos de capim-elefante e cana-de-açúcar	45
5.2. Avaliações fisiológicas	46
6. CONCLUSÃO	50
7. REFERENCIAS	51
8. APÊNDICES	58

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de espécies dedicado à produção de biomassa energética, como o de gramíneas forrageiras, é considerado uma alternativa técnica sustentável por tratar-se de uma fonte renovável limpa, que além de prevenir a extração de madeiras em florestas nativas é capaz de atender a diversos propósitos energéticos, tais como a produção de energia térmica, elétrica e/ou mecânica (PEREIRA, 2014).

A alternativa de utilização das gramíneas forrageiras torna-se ainda mais sustentável quando as culturas dedicadas à produção de biomassa ocupam áreas agrícolas onde a produção de alimentos seria pouco viável, as chamadas áreas marginais, e quando se escolhe fontes de biomassa que possam oferecer algum ganho energético e que não competem com a produção de alimentos (SCHMER et al., 2008; YUAN et al., 2008). Neste sentido, gramíneas forrageiras para a produção de energia, como o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) e a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), apresentam grande potencial como fonte de matéria-prima com potencial de produção anual que supera 45 toneladas de massa seca por hectare para a produção de energia, tendo em vista a sua facilidade de cultivo e colheita (CHISES, 2015). Além disso, estas espécies apresentam boa amplitude de adaptação às condições ambientais (clima e solo) do Brasil, podendo ser cultivadas em áreas marginais, onde outras culturas energéticas não são recomendadas (SOUZA & SILVEIRA, 2006).

A região Nordeste corresponde a aproximadamente 19% da área do país, com cerca de 60% desta área localizada no semiárido, onde a seca é o principal fator abiótico que diminui a produtividade agrícola e restringe a expansão de áreas cultivadas ou mesmo a manutenção de espécies tradicionais de interesse econômico (FAO, 2008). Uma das alternativas para reduzir o impacto da seca sobre as culturas e/ou amenizar os custos com a irrigação é a seleção e uso de genótipos com características de maior tolerância ao déficit hídrico para sua introdução em programas de melhoramento genético. Nesse processo, a identificação de ferramentas satisfatórias de seleção e de características quantitativas é de suma importância.

A adaptação das plantas ao déficit hídrico é um mecanismo muito complexo envolvendo interação entre genótipos e respostas de tolerância da planta a seca. A capacidade de manter processos fisiológicos chave, tais como fotossíntese e controle estomático em plantas C4 durante o déficit hídrico é indicativa de potencial para sustentar a produtividade no âmbito da escassez de água (GHANNOUM 2009; SILVA et al., 2013).

A deficiência hídrica e alta luminosidade leva a exposição da planta ao excesso de energia, que, se não for dissipada de forma segura, pode causar uma sobre-excitação dos centros de reação do fotossistema (FS) II levando a fotoinibição (TAKAHASHI & BADGER, 2011). Estudos sobre máxima eficiência quântica do fotossistema II, razão (F_v/F_m), que reflete a máxima eficiência com que a luz absorvida pelo complexo-antena do fotossistema II é convertida em energia química (MAXWELL & JOHNSON, 2000), têm mostrado ser uma boa referência fisiológica para diagnosticar a integridade do sistema fotossintético em gramíneas sob deficiência hídrica com capim-elefante (ARAÚJO et al., 2010), cana-de-açúcar (SILVA et al., 2011; SANTOS et al., 2015;) e milho (CHEN et al., 2018). Outros estudos em diferentes C4 utilizando teor relativo de água da folha (SANTOS et al., 2015; ALMESELMANI et al., 2012; GHOLAMI et al., 2012) e potencial hídrico foliar (ENDRES et al., 2010; ALMESELMANI et al., 2012; GHOLAMI et al., 2012) têm sido propostos como critérios de seleção para triagem de genótipos que apresentam maior adaptação a seca. No entanto, estudos em capim-elefante, neste sentido, ainda são escassos, o que torna nosso estudo de grande relevância.

O conhecimento das respostas de alguns atributos fisiológicos às variações da disponibilidade hídrica do solo, principalmente nos estádios de maior exigência da cultura, é de grande importância no uso e manejo da irrigação. Além disso, a identificação de características fisiológicas relacionadas com a manutenção do status hídrico da planta podem ser empregadas na compreensão dos mecanismos de tolerância à seca em genótipos de capim-elefante, permitindo direcionar os cruzamentos em programas de melhoramento da cultura. Diante disso, esse trabalho teve como objetivo comparar o crescimento inicial de capim-elefante e a cana-de-açúcar RB92579 e suas características fisiológicas quanto à tolerância ou susceptibilidade as condições de deficiência hídrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais e importância econômica de gramíneas

Nos últimos anos, a economia mundial vem passando por uma crise energética que tem obrigado os países a buscarem novas alternativas de produção de energia, sobretudo através de fontes renováveis. Levando-se em conta a forte dependência do setor agropecuário em termos de eletricidade e de lenha, além dos resíduos agrícolas disponíveis regionalmente como fonte de combustível para produção de biomassa como o eucalipto, e as gramíneas forrageiras configuram-se como alternativas promissoras para suprir a demanda de matéria-prima (QUESADA et al., 2004).

Gramíneas forrageiras com elevadas taxas de crescimento e produção de elevadas quantidades de biomassa rica em fibras e lignina, como o capim-elefante e a cana-energia, podem aumentar a disponibilidade de biomassa em escala industrial, desde que tenha seu cultivo alinhado ao planejamento de plantio e colheita, proporcionando rendimento extra no longo período de entressafra da cana-de-açúcar. Além disso, esta biomassa pode servir como fonte de matéria-prima para combustão em fornalhas de cerâmica, fabricas de cimento, etc. (QUESADA et al., 2005; SAMSON et al., 2005).

A alternativa de utilização das gramíneas forrageiras torna-se ainda mais sustentável quando as culturas dedicadas à produção de biomassa ocupam áreas agrícolas onde a produção de alimentos seria pouco viável, as chamadas áreas marginais, e quando se escolhe fontes de biomassa que possam oferecer algum ganho energético e que não competem com a produção de alimentos (SCHMER et al., 2008; YUAN et al., 2008), além de considerar que deve-se priorizar a produção de plantas fibrosas em vez de amiláceas e oleaginosas (STICKLEN, 2008).

Neste sentido, gramíneas forrageiras para a produção de energia no Brasil, como o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), a cana-energia (*Saccharum* spp.), além de outras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria*, apresentam grande potencial como fonte de matéria-prima para a produção de energia tendo em vista a sua facilidade de cultivo e colheita.

Além disso, estas espécies apresentam boa amplitude de adaptações às condições ambientais (clima e solo) do Brasil, podendo ser cultivadas em áreas marginais, onde outras culturas energéticas não são recomendadas (SOUZA & SILVEIRA, 2006).

Uma das gramíneas com elevado potencial de produção de biomassa rica em fibras é a chamada cana-energia que, contrariamente à tradicional cana-de-açúcar, melhorada para produzir sacarose, é direcionada para produzir fibra. Trata-se de híbridos da espécie *Saccharum* spp. Direcionados à produção exclusiva de biomassa moderna, com características de alta produção, alto conteúdo de fibras, capazes de suportar condições ambientais mais estressantes devido à maior rusticidade e adaptabilidade a áreas agrícolas marginais (VIOLANTE, 2012).

De acordo com Tatsuoko et al. (2014) Carvalho-Neto et al. (2014), relatos o sistema radicular da cana-energia é o responsável pela sua maior produtividade e rusticidade tendo em vista a presença de rizomas, caules subterrâneos. Neste contexto, a cana-energia tem sido estudada por diversas instituições que comprovam o seu elevado potencial de produção de biomassa rica em fibras e lignina para a produção de bioenergia.

Considerando as características de gramíneas energéticas como a cana-de-açúcar e o capim-elefante e impulsionados pela demanda de produção de biomassa moderna, a ser aplicada na produção de energia térmica e/ou em processos de transformação mais complexos que possibilitem a obtenção de outros produtos além de açúcar e álcool, é preponderante que sejam identificados genótipos que além de melhor adaptação às áreas marginais de cultivo da cana-de-açúcar, tais como as regiões do semiárido de Estado de Alagoas, para que se obtenha sucesso na exploração econômica desta atividade.

2.2. O capim-elefante e seu potencial energético

O capim-elefante (*P. purpureum* Schum) é uma espécie promissora para a produção de energia com potencial de produção anual que supera 45 toneladas de massa seca por hectare (CHISES, 2015). A planta atinge até seis metros de altura, podendo ser colhida após seis meses de cultivo, mantendo rebrotas viáveis e produtividade elevada. O capim-elefante (*P. purpureum*), pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, é uma gramínea perene de ciclo curto e compreende mais de 200 variedades e/ou ecotipos. Entre as principais cultivares introduzidas no país podem ser citadas: Napier, Cameroon, Roxo, Mercker, Anão, Vrukwna, Taiwan A-146, Merkeron, Porto Rico, Cubano e alguns híbridos triploides e hexaplóides (PEREIRA & LÉDO, 2008). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária dispõe atualmente de duas cultivares com aptidão para esse tipo de finalidade, a BRS Canará e a BRS Capiacú, lançadas pela Embrapa Gado de Leite (MG) e vêm testando diversos clones com potencial produtivo elevado. A Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo da Embrapa

Tabuleiros Costeiros vem desenvolvendo pesquisas com capim-elefante em áreas de usinas de Alagoas que demonstram o elevado potencial produtivo de alguns genótipos para região da Zona da Mata do estado (MARAFFON et al., 2014).

Foi introduzido no Brasil por volta de 1920, por meio de mudas do cultivar Napier provenientes de Cuba e, atualmente encontra-se difundido em todas as regiões brasileiras. Desta forma, ensaios de desempenho produtivo para identificação de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas prevalentes em cada região são de grande importância na adoção de uma cultivar de *Pennisetum* sp. (FREITAS et al., 2010).

A alta produtividade de biomassa do capim-elefante pode ser explicada por este ser altamente eficiente na fixação de CO₂ atmosférico e no processo de conversão da energia solar pela fotossíntese, característica típica de gramíneas tropicais que crescem rapidamente e que são capazes de otimizar o uso da água do solo e da energia solar (SAMSON et al., 2005). Por possuir constituição morfológica muito parecida com a do bagaço da cana, que já é utilizado com sucesso na geração de energia, e alta produtividade, o capim-elefante tem despertado muito interesse no setor energético (QUASADA et al., 2004).

A diversidade do capim elefante tem sido utilizada estrategicamente para a obtenção de novos clones a partir de cruzamentos entre aqueles materiais já conhecidos e tradicionalmente cultivados (SILVA et al., 2008). Programas de melhoramento genético têm procurado selecionar clones produtivos com boa adaptação a diferentes condições de cultivo (CUNHA, 2008), visto que a espécie *P. purpureum* compreende mais de 200 variedades, ensaios de desempenho produtivo para identificar genótipos mais adaptados às condições edafoclimáticas prevalentes em cada região são de grande importância na adoção de cultivares (ZANETTI, 2010).

De acordo com Marafon et al. (2004), o alto potencial de produção de biomassa dos genótipos de capim-elefante, associado aos elevados teores de fibras em detergente ácido e à possibilidade de execução de múltiplos cortes anuais, credenciam a cultura como uma excelente alternativa de cultivo dedicado à produção de biomassa lignocelulósica, da qual se pode obter matéria-prima com alta qualidade energética para a produção de energia térmica, etanol celulósico e/ou biocombustível sólidos (*pellets* e briquetes).

2.3. Estresse por déficit hídrico e mecanismos morfofisiológicos de plantas sob déficit hídrico:

Por ser uma planta que apresenta boa rusticidade e capaz de se desenvolver em solos pobres e sem adubação, o capim-elefante apresenta capacidade de se desenvolver bem, crescer em áreas marginais às grandes culturas (SANTOS et al., 2001; MORAIS et al., 2009). Quando cultivado com disponibilidade hídrica satisfatória e manejado intensivamente, o capim-elefante pode apresentar produções diárias superiores a 125 kg há⁻¹ de matéria seca e atingir até 6 metros de altura após seis meses de cultivo, mantendo rebrotas viáveis e produtividade elevada (PACIULLO et al., 2003).

Geralmente, no início do déficit, a planta passa por um período de aclimação em que são observadas alterações metabólicas e morfológicas para prevenir danos aos tecidos. A avaliação das alterações morfológicas e fisiológicas em função do déficit hídrico podem indicar mecanismos de tolerância a seca. A assimilação do carbono, a alocação de carbono a órgãos não fotossintetizantes, a produção de osmorreguladores, além de outros mecanismos morfológicos, são alterados em plantas sob déficit hídrico (CHAVES et al., 2002).

Uma das alternativas para reduzir o impacto da seca sobre as culturas e/ou amenizar os custos com irrigação é a seleção e uso de genótipos com características de tolerância ao déficit hídrico para sua introdução em programas de melhoramento genético.

Os mecanismos que conduzem a tolerância à seca podem ser divididos em dois grupos principais: a) Mecanismos de fuga: quando a planta evita a falta de água nos tecidos durante a seca por meio da manutenção de turgor e do volume celular, tanto pela absorção de água por um sistema radicular abundante ou pela redução de sua perda por transpiração ou por vias não estomáticas como as cutículas das folhas (VERSLUES et al., 2006); e b) Mecanismos de tolerância: na qual a planta mantém o metabolismo, mesmo sob baixos potenciais de água no solo, devido principalmente ao ajuste osmótico (AO) e à capacidade antioxidante.

Uma das alternativas para reduzir o impacto da seca sobre as culturas e/ou amenizar os custos com a irrigação é a seleção e uso de genótipos com características de tolerância ao déficit hídrico para sua introdução em programas de melhoramento genético. Nesse processo, a identificação de ferramentas satisfatórias de seleção e de características quantitativas é de suma importância. De acordo com Cavatte et al. (2011), os programas de melhoramento genético para condições de estresse hídrico devem focar, principalmente, as seguintes características: maior

eficiência no uso da água (EUA), sistema radicular mais robusto, maior atividade do sistema antioxidante e ajustamento osmótico.

2.3.1. Crescimento e produtividade do capim-elefante em ambientes secos;

As características de crescimento variam em decorrência de alterações nos níveis de luz, temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes. Sendo necessário conhecer as respostas morfológicas das espécies ao ambiente, para entendimento de adaptações das plantas às práticas de manejo a serem adotadas. (ANDRADE et al., 2014). O estresse hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, podendo variar entre as espécies (GUAN et al., 2015; CHEN et al., 2016). Apesar de sua elevada produtividade, uma das maiores dificuldades do capim-elefante é sua baixa tolerância a períodos de seca, muito comuns na maioria das áreas marginais (SILVA et al., 2013).

As áreas marginais para a produção de alimentos dependem de fatores locais de clima e solo, embora o déficit hídrico sozinho ou combinado com outros estresses abióticos restrinja mais as culturas agrícolas do que qualquer fator ambiental isolado (BOHNERT et al., 1995). Isso faz com que a tolerância a seca das culturas destinadas a produção de bioenergia seja um fator primordial para a exploração de áreas agrícolas marginais (SILVA et al., 2013).

O cultivo do capim-elefante nas áreas de maior limitação hídrica do agreste nordestino é realizado predominantemente em baixadas, vazante ou sob irrigação. O capim-elefante tolera curtos períodos de seca, embora sua produção seja reduzida ou quase nula quando prevalece o déficit hídrico, mas apresenta capacidade de recuperação logo após o início das chuvas (SANTOS et al., 2011). Quando submetidas às condições de deficiência hídrica, as plantas de capim elefante apresentam alterações para prevenir e tolerar a perda de água. De maneira geral todos os aspectos ligados ao crescimento da planta são afetados pelo estresse hídrico (KRAMER, 1993), dentre eles: diminuição da expansão foliar, redução na altura das plantas, aceleração na taxa de senescência foliar, inibição do perfilhamento e ramificações e aceleração da morte dos perfilhos estabelecidos, bem como o atraso no crescimento das plantas (BARRETO et al., 2001).

A região nordeste corresponde a aproximadamente 19% da área do país, com cerca de 60% desta área localizada no semiárido, onde a seca é o principal fator abiótico que diminui a produtividade agrícola e restringe a expansão de áreas cultivadas ou mesmo a manutenção de espécies tradicionais de interesse econômico (FAO, 2008).

Em muitas regiões, aproximadamente, 70 a 80% da produção do capim-elefante concentra-se na época das chuvas (BOTREL et al., 2000; DERESZ, 2001). Segundo Rose (2010), características como altura do dossel, diâmetro de colmo, comprimento e largura da folha, número de folhas, número de perfilhos, área foliar e relação folha/colmo, quando aliadas ao trazem informações adicionais sobre a qualidade do material para ser usado como fonte direta de energia.

A produção de matéria seca de capim-elefante varia de acordo com o genótipo, a época de cultivo, a disponibilidade de nutrientes e o tipo de solo, podendo atingir no período de seis meses de idade mais de 40 Mg ha⁻¹ de matéria seca (MORAIS et al., 2009; ZANETTI, 2009; FLORES, 2012).

Segundo Cóser et al. (2008), a irrigação aumenta a altura e a produção de matéria seca. Olivo et al. (2007) também concluíram que a produtividade de capim-elefante foi superior no verão, se comparada a produtividade no inverno. Barreto et al. (2001), trabalhando com clones de *P. purpureum* e um híbrido com milheto (*Pennisetum glaucum*), observaram que a altura das plantas e o número de entrenós por perfilho foram severamente reduzidos pelo estresse hídrico em todas as cultivares avaliadas, diagnosticando efeito inibitório do estresse hídrico sobre o alongamento do caule, a largura e o comprimento da lâmina foliar.

2.3.2. Teor relativo de água na folha

O teor relativo de água na folha (TRA) é definido como a quantidade de água de um tecido comparada com a quantidade máxima que ele poderá reter em um dado momento (TAIZ & ZEIGER, 2013). Sendo assim, o TRA é considerado como a variação de massa de água do tecido, que, por sua vez, decorre da variação de massa de água da célula e, conseqüentemente, da variação do volume celular entre a turgescência e a perda da turgescência (ANGELOCCI, 2002). Nesse sentido, O teor relativo de água na folha (TRA) é um indicador do status hídrico da planta e em condição de estresse hídrico possibilita uma análise do estado da água na planta (SILVA et al., 2013).

Em seus estudos com cana-de-açúcar, Silva et al. (2013) verificou que o teor relativo de água foi um bom indicador de tolerância ao déficit hídrico, visto que o TRA foi mantido nas cultivares mais tolerantes quando estressadas, esses autores, observaram que sob déficit hídrico

de 15 dias, a cultivar mais tolerante teve o TRA de 83,5%, enquanto a mais sensível foi de 62,4%. Algo semelhante ocorreu com o milho (CHEN et al., 2018) onde também foram observados que genótipos sensíveis apresentaram maior redução de TRA.

2.3.3. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica

O estresse hídrico afeta o processo fotossintético devido a efeitos estomáticos e não estomáticos. O efeito estomático é um evento primário que leva a uma menor disponibilidade de CO₂ nos espaços intercelulares, reduzindo sua assimilação nos cloroplastos (FARIA et al., 1996). Os efeitos não-estomáticos estão relacionados às perturbações nos processos bioquímicos (redução na eficiência carboxilativa e atividade da RUBISCO e de outras enzimas do metabolismo fotossintético) (LU & ZHANG, 1999).

Em estudos com diferentes cultivares de cana-de-açúcar e capim-elefante foi observado que a redução da condutância estomática promoveu concomitantemente redução na transpiração durante o período de estresse (ARAÚJO et al., 2010; GONÇALVES et al., 2010). Essa relação direta entre condutância estomática e transpiração é esperada, visto que o fluxo de vapor d'água para a atmosfera diminui à medida que ocorre o fechamento dos estômatos (GONÇALVES et al., 2010; GUAN et al., 2015).

Outro componente das trocas gasosas é a taxa fotossintética, que em plantas estressadas pode ser comprometida com o fechamento estomático devido à redução no influxo de CO₂. No entanto, esse comprometimento depende da intensidade e duração do estresse hídrico (SALES et al., 2012; ZIVCAK et al., 2013). As plantas sob condições de estresse moderado tendem a manter a fotossíntese relativamente constante, enquanto sob estresse hídrico severo a taxa fotossintética reduz acentuadamente (DIAS & BRÜGGEMANN, 2010; GONÇALVES et al., 2010), como observado em estudos realizados em gramíneas como capim-elefante (ARAÚJO et al., 2010) e milho sob deficiência hídrica (ANJUM et al., 2016).

O fechamento estomático, induzido pela deficiência hídrica causa desequilíbrio entre as fases fotoquímicas e de redução do carbono. Como consequência, ocorre um aumento na relação NADPH/NADP⁺ no estroma devido à redução de funcionamento do Ciclo de Calvin, que consome o NADPH, acarretando diminuição no conteúdo de NADP⁺, o principal acceptor de elétrons do PSI. Sob condições de alta luminosidade esse distúrbio é exacerbado em função do excesso de elétrons nos sistemas de transporte dos tilacóides e dos fotossistemas, pode causar uma sobre-excitação dos centros de reação dos Fotossistema II e I elevando a produção de

espécies reativas de oxigênio (EROs) nos cloroplastos o que reduz a eficiência dos fotossistemas (CARVALHO et al., 2008; TAKAHASHI & BADGER, 2011). Estudos sobre máxima eficiência quântica do fotossistema II, razão (F_v/F_m), que reflete a máxima eficiência com que a luz absorvida pelo complexo-antena do fotossistema II é convertida em energia química (Maxwell & Johnson, 2000), têm mostrado ser uma boa referência fisiológica para diagnosticar a integridade do sistema fotossintético em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica (SILVA et al., 2007; GRAÇA et al., 2010; SILVA et al., 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material vegetal e condições experimentais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizado no município de Rio Largo - AL (9°28' S, 35°49' W, a 127m de altitude).

Os genótipos de capim-elefante utilizados foram: BRS Capiaçú, Venezuela Madeira e Pasto Panamá. A variedade de cana-de-açúcar RB92579 foi escolhida por apresentar alta brotação de socaria, alta produtividade e mecanismos de tolerância ao déficit hídrico (RIDESA, 2010; ENDRES et al., 2010).

Para garantir o enraizamento e uma homogeneidade maior das plântulas, os rebolos foram plantados previamente em bandejas plásticas (em 23/08/2017) e mantidos dentro da casa de vegetação onde o experimento foi instalado; transcorridos 15 dias após o plantio (DAP), três plântulas foram transferidas para bombonas plásticas de 200 litros, as quais foram cortadas ao meio e preenchidas com 100 kg de uma mistura de solo e torta de filtro (3:1) devidamente destorroada, peneirada e homogeneizada. Dentro da casa de vegetação, os vasos foram distribuídos em arranjo espacial de 0,5 x 1,0 m entre as linhas e fileiras. Após 25 dias do DAP, foi feito o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso. O solo utilizado no experimento foi analisado, conforme metodologia da Embrapa (1997), cujos resultados encontram-se na Tabela 1.

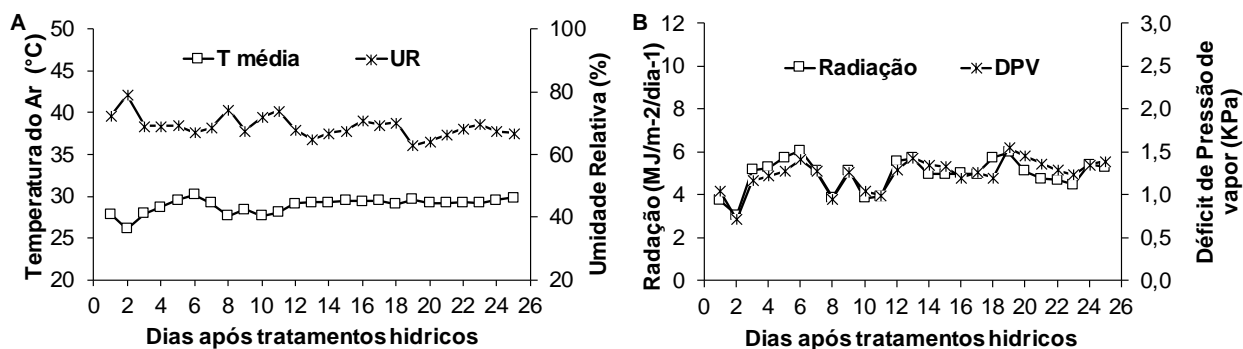
Tabela 2 - Resultados da análise físico-química e pH do solo utilizado no experimento.

Características químicas														
pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
H ₂ O	dag/kg	mg/dm ³	cmol/dm ³	mg/dm ³	cmolc/dm ³				%	mg/dm ³				
6,7	3,35	1.254,73	1,44	250,56	5,25	1,47	7,36	7,42	83,66	0,12	1,00	138,54	33,37	11,10
Características físicas														
Areia	Argila	Silte	Textura			Balão Volumétrico	Torrão Imp.		Densidade (g/cm ³)					
dag/kg			do Solo			Partículas	Solo							
75	20	5	Média			1,18	---							

Os elementos climáticos dentro da casa-de-vegetação foram monitorados por uma estação meteorológica automática, modelo WS - GP1 (DELTA-T Devices, Cambridge -

England), localizada dentro da casa de vegetação, registrando: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) (Figura 1A) e radiação solar (W m^{-2}) e DPV (kPa) (Figura 1B).

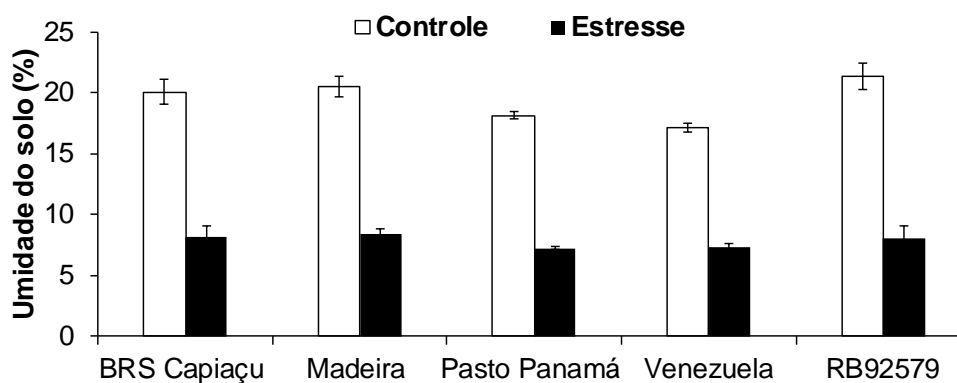
Figura 1: Temperatura e umidade do ar (A), radiação solar e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), registrados durante o período de supressão hídrica e reidratação



Após 68 dias de aclimação das plântulas, houve a imposição dos regimes hídricos. Os regimes hídricos foram: tratamento controle com o solo mantido em capacidade de campo ($> 80\%$ da água disponível no solo – AD) e estresse com suspensão total da irrigação, cuja duração variou de acordo com cada genótipo; o tempo de reidratação, por sua vez, foi de quatro dias, indiscriminadamente.

A umidade e temperatura, foi calculado o DPV (Déficit de Pressão de Vapor) do ar (kPa) (Figura 1B), bem como a umidade do solo que foi monitorada, em cada vaso, através de sistema de sonda de monitoramento de umidade de solo (Moisture Meter PR2, Delta T Devices, England) que avalia a umidade a cada 10 cm até a profundidade de 40 cm (Figura 2).

Figura 2. Monitoramento do teor de umidade no solo (%) durante o período dos tratamentos hídricos: controle e estresse. As barras verticais indicam o erro padrão da média.



O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2 composto pelos genótipos de capim-elefante BRS Capiacu, Venezuela Madeira e Pasto Panamá e a variedade de cana-de-açúcar RB92579 como primeiro fator e dois regimes hídricos como segundo fator. Estes foram distribuídos em 6 blocos, tendo uma repetição por bloco, totalizando 60 parcelas experimentais.

Durante o período de estresse foram realizadas avaliações fisiológicas nas plantas. A taxa de fotossíntese líquida, próxima de zero, foi o parâmetro utilizado para considerar que as plantas estavam estressadas. Imediatamente após a constatação desse valor, as plantas estressadas foram reidratadas e a taxa fotossintética acompanhada até sua recuperação.

3.2. Avaliações biométricas

Variáveis biométricas das plantas foram medidas desde o plantio até o término da recuperação das plantas após o estresse. As avaliações foram feitas de 39 aos 68 dias após o plantio.

A altura da planta foi avaliada com uma fita métrica graduada em centímetros, sendo aferida da base da planta à inserção da folha +1 (primeira folha com lígula aparente). Na contagem do número de folhas verdes, considerando-se as folhas totalmente expandidas e com pelo menos 20% da área foliar verde, contadas a partir da folha +1.

Inicialmente, diâmetro do caule foi avaliado a 5 cm do solo, no entanto quando os entrenós se tornaram aparentes, foi mensurado na altura do 3º entrenó com o auxílio de um paquímetro digital. Para a determinação da área foliar (cm²) foram realizadas medições do comprimento e diâmetro do limbo foliar na porção mediana da folha +3, com auxílio de uma fita métrica e régua, respectivamente.

A área foliar foi calculada segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999) para cana-de-açúcar e Schiavuzzo, et al. (1998) para capim:

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$$

Onde:

C = Comprimento da folha +3;

L = Largura da folha +3;

0,75 = Fator de correção para área foliar da cana-de-açúcar;

0,835 = Fator de correção para área foliar do capim;

N = Número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

3.3. Características fisiológicas

Aos 68 dias após o plantio, foi dado início a segunda etapa do experimento que consistiu na suspensão total da irrigação causando estresse hídrico nas plantas. Durante esse período foram realizadas as seguintes avaliações: Teor relativo de água, Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do fotossistema II.

3.3.1. Teor Relativo de água (TRA)

No período de estresse máximo de cada genótipo foram extraídos dois discos da folha +1 (0,80 cm² cada), determinando-se a massa do tecido fresco dos discos em balança analítica. Para a obtenção da massa do tecido túrgido foi feita a reidratação dos respectivos discos em água deionizada por 24h, sendo retirado o excesso de água com lenço de papel dos discos saturados, seguido por pesagem. A massa do tecido seco foi obtida depois que os discos foram secos por 48 h a 80°C em estufa de circulação de ar forçada. O TRA foi calculado por intermédio de fórmula, conforme a metodologia apresentada por Jamaux et al. (1997):

$$\text{TRA} = [(\text{MF} - \text{MS}) \times (\text{MT} - \text{MS})] \times 100$$

Em que:

MF = corresponde a massa do tecido fresco;

MT = massa do tecido túrgido;

MS = massa do tecido seco.

3.3.2. Trocas gasosas

As análises das trocas gasosas foram realizadas com um analisador de gases por infravermelho, modelo LCi SD (ADC, BioScientificL, EUA), entre as 8h30 e às 10h30, a cada dois dias após a imposição dos regimes hídricos. Todas as medidas foram realizadas com fonte de luz artificial radiação fotossinteticamente ativa constante ($Q = 1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Foram

obtidos dados de condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). As avaliações foram realizadas ao longo do período de estresse, sendo as medidas realizadas no terço médio da folha +1 (primeira folha totalmente expandida e com a lígula aparente);

3.3.3. Eficiência Fotoquímica

As medidas de eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) também foram realizadas após o estresse hídrico, na parte central das folhas +1 utilizando um fluorômetro portátil do tipo WALZ-PAM-2500, que emprega a medição de luz por modulação em amplitude de pulso (PAM - "Pulse-Amplitude-Modulation"), para promover o fechamento dos centros de reação do PSII, de acordo com o método descrito por Maxwell e Johnson (2000), sendo a F_v/F_m mensurada após condicionamento ao escuro com pinças de metal durante 20 minutos. A eficiência quântica efetiva do PSII (Φ_{PSII}) foi aferida às 9h, conforme Schreiber et al. (1995); a aferição da eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), por sua vez, ocorreu ao meio dia (medida de fotoinibição dinâmica).

3.4. Massa Seca da Planta

Ao final do experimento foram coletadas as folhas, colmos e raízes para determinar a massa seca (MS) da planta. O material vegetal foi colocado para secar em estufa de circulação forçada, à temperatura de 65°C até atingir peso constante e, em seguida, pesados em balança analítica.

3.5. Cálculo das reduções diárias

As reduções diárias foram calculadas por intermédio da fórmula:

$$RD = RT / NDE$$

Onde:

RD = redução diária

RT = redução total (estresse máximo)

NDE = número de dias em que as plantas ficaram esposas a restrição hídrica

3.6. Análises estatísticas

Os dados biométricos coletados com 68 DAP e a massa seca da planta foram submetidos à análise de variância com teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. TRA foi feita análise de variância com teste f e as médias foram comparadas por erro padrão. As análises dos dados foram feitas utilizando o programa estatístico Sisvar.

As variáveis fisiológicas (trocas gasosas e eficiência fotoquímica) foram submetidas a análise de regressão como variáveis dependentes e a umidade do solo como variáveis independentes (Table curve 2D).

4. RESULTADOS

4.1. Análises biométricas

Os genótipos de capim-elefante e a cana-de-açúcar RB92579 apresentaram comportamentos diferenciados ao longo do crescimento na fase vegetativa (Figura 3). Em plantas com 68 dias após plantio (DAP) pode-se observar alterações expressivas nas características morfológicas como número de folhas, número de perfilho, diâmetro do colmo, altura de planta, largura da folha +3 e área foliar entre essas gramíneas (Figura 3), exceto o comprimento da folha +3, característica em que essas gramíneas apresentam valores próximos ao final do experimento (Figura 3E).

O número de folhas não diferiu entre os genótipos de capim-elefante, tendo em média 12 folhas por planta (Figura 3A), indicando um acréscimo de 39% em comparação a RB92579 que apresentou média de oito folhas por planta aos 68 DAP (Figura 3A).

O genótipo BRS Capiaçú apresentou maior números de perfilhos em comparação com os demais genótipos estudados, com média de sete perfilhos por planta (Figura 3B), o genótipo Pasto Panamá e a RB92579 apresentaram menores produção de perfilhos (Figura 3B), quando comparados com o genótipo BRS Capiaçú constatou-se um decréscimo de 34,85% e 40,91% respectivamente no número de perfilhos (Figura 3B).

Os genótipos de capim-elefante apresentaram médias aproximadas de diâmetro de colmo de 23 mm (Figura 3C), já na RB92579 essas médias foram de 17 mm. A RB92579 apresentou um diâmetro de colmo 26% menor em relação aos capins aos 68 DAP. (Figura 3C).

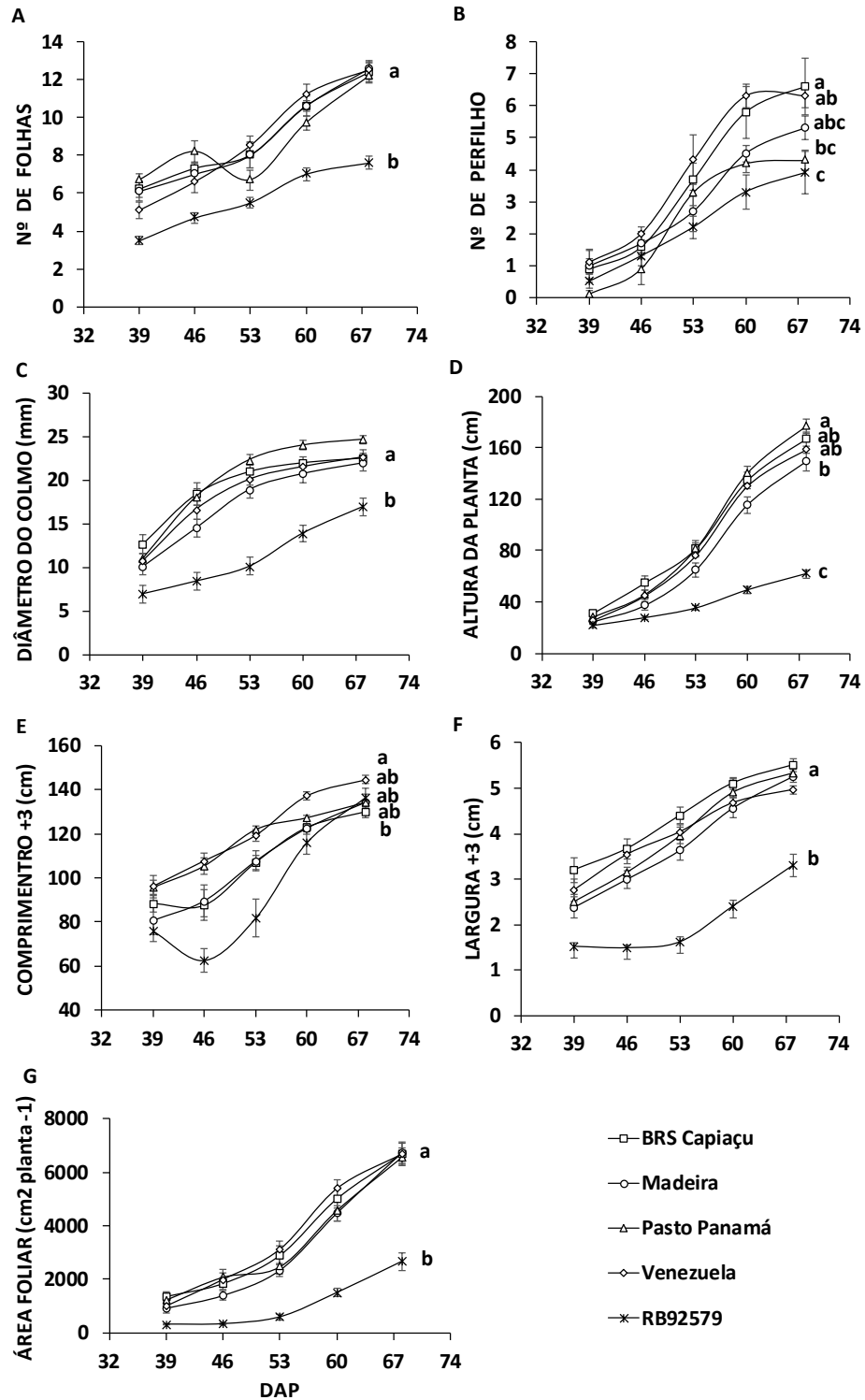
Os genótipos de capim-elefante estudados diferiram na altura das plantas. O Pasto Panamá se destacou com maior altura, enquanto o genótipo Madeira apresentou menor altura das plantas, com redução de 15,59% quando comparado ao Pasto Panamá (Figura D). A RB92579 apresentou crescimento lento com baixo incremento na altura das plantas quando comparado aos genótipos de capim-elefante (Figura 3D).

O genótipo Venezuela apresentou o maior comprimento da folha +3 e o genótipos BRS Capiaçú, que apresentou o menor comprimento da folha +3, com redução 10% quando comparado ao Venezuela (Figura3E).

A largura média da folha +3 foi de aproximadamente 4 cm nos genótipos de capim-elefante, sendo 40% mais largas que a cana RB92579, que apresentou folhas mais estreitas (Figura 3F).

Entre os genótipos de capim-elefante os valores de área foliar foram aproximados com valores médios de 3.443,32 cm² planta⁻¹ (Figura 3G), por outro lado, pode-se evidenciar que o crescimento da área foliar na cana RB92579 foi mais lento, com redução de 61% da área foliar quando comparado ao capim (Figura 3G).

Figura 3. N° de folhas (A), N° de perfilhos (B), diâmetro do colmo (C), Altura da planta (D), comprimento da F+3 (E), Largura da F+3 (F) e área foliar (G), de genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579) no período de 39 aos 68 dias após o plantio (DAP).

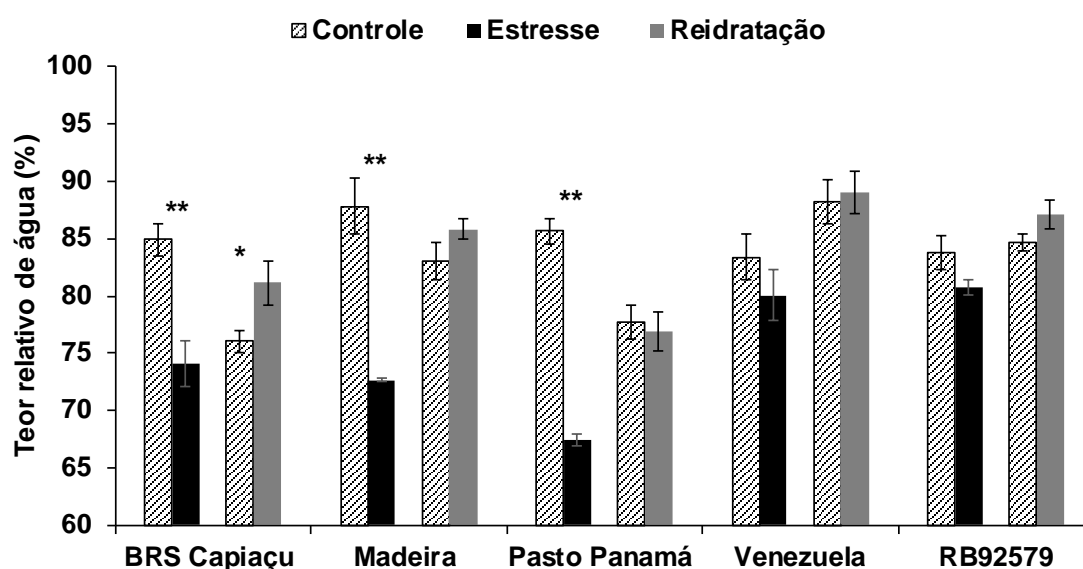


Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre genótipos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.2. Avaliações fisiológicas

O teor relativo de água na folha variou entre os genótipos sob deficiência hídrica (Figura 4). Os genótipos BRS Capiaçú foi o que apresentou menor redução de 21% sob déficit hídrico, seguido do Madeira e Pasto Panamá com redução de aproximadamente 13% e 17% respectivamente, quando comparado com seus controles (Figura 4), enquanto que os genótipos Venezuela e a RB92579 não foram afetados de forma significativa em condição de estresse. Na reidratação todos os genótipos se recuperaram, sendo que apenas o BRS Capiaçú apresentou diferença significativa, tendo um acréscimo de 6,3% em comparação com o seu controle (Figura 4).

Figura 4. Teor relativo de água na folha em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579) sob diferentes tratamentos hídricos: controle, estresse e reidratação.



De modo geral, todos os genótipos estudados apresentaram redução da condutância estomática (g_s) quando expostos ao déficit hídrico (Figura 5). Ao longo do período de estresse hídrico foi observada no genótipo Pasto Panamá a maior redução diária da condutância estomática em torno de 10% (Apêndice 3) e em condições de estresse máximo reduziu 80% da sua g_s (Figura 5E). Já o BRS Capiaçú foi, dentre os capins, o que obteve a menor redução diária da condutância cerca de 7,4% (Figura 5A) e RB92579 reduziu apenas 3,3% da sua condutância diária (Figura 5I) sob déficit hídrico.

O mesmo foi observado quando relacionado g_s e umidade do solo entre os genótipos de capim-elefante e a cana RB92579, sendo possível observar uma relação positiva (Figura 5 B, D, F, H, E e J), em que g_s decresce com a redução da umidade do solo ao longo do estresse hídrico nas plantas. O genótipo Pasto panamá foi o mais responsivo à redução da umidade do solo chegando a valores de g_s de $0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$ quando a umidade do solo foi de 9%U (Figura 5F).

A transpiração foliar apresentou comportamento semelhante a g_s em todos os genótipos, os quais também apresentaram redução das taxas transpiratórias ao longo do estresse hídrico (Figura 6), sendo o genótipo Pasto Panamá o mais afetado pela deficiência hídrica (Figura 6E) com uma redução diária de 9% (Apêndice 3) e no estresse máximo, uma redução total de 71%.

Os genótipos BRS Capiaçú e Madeira apresentaram as menores reduções nas taxas de transpiração entre os capins, ambos reduziram 7% da transpiração diariamente (Apêndice 3) e, ao longo do período de seca, e no estresse máximo constatou-se uma redução total de 56% e 69%, respectivamente, nesses genótipos (Figuras 6A e C), enquanto que a RB92579 reduziu apenas 3,4% da sua transpiração diária e no estresse máximo essa redução foi de 65% (Figura 6I).

Quando relacionada a transpiração e a umidade de solo, todos os genótipos apresentaram uma relação positiva, em que a transpiração decresce com a redução da umidade do solo (Figuras 6 B, D, F, H, E e J). Pode-se observar que o genótipo Pasto Panamá, dentre os materiais estudados, foi o que apresentou maiores reduções na transpiração foliar com o decréscimo da umidade do solo, chegando a transpiração mínima de $1,33 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$, quando a umidade do solo foi de 9% (Figura 76F).

Com a reidratação todos os genótipos de capim-elefante voltaram a valores de g_s e transpiração próximas ou iguais a seu ponto inicial, antes do estresse quando as plantas estavam hidratadas (Figuras 5A, 5C, 5E, 5G e 5I e 6A, 6C, 6E, 6G e 6I).

Figura 5. Condutância estomática em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de condutância estomática em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J).

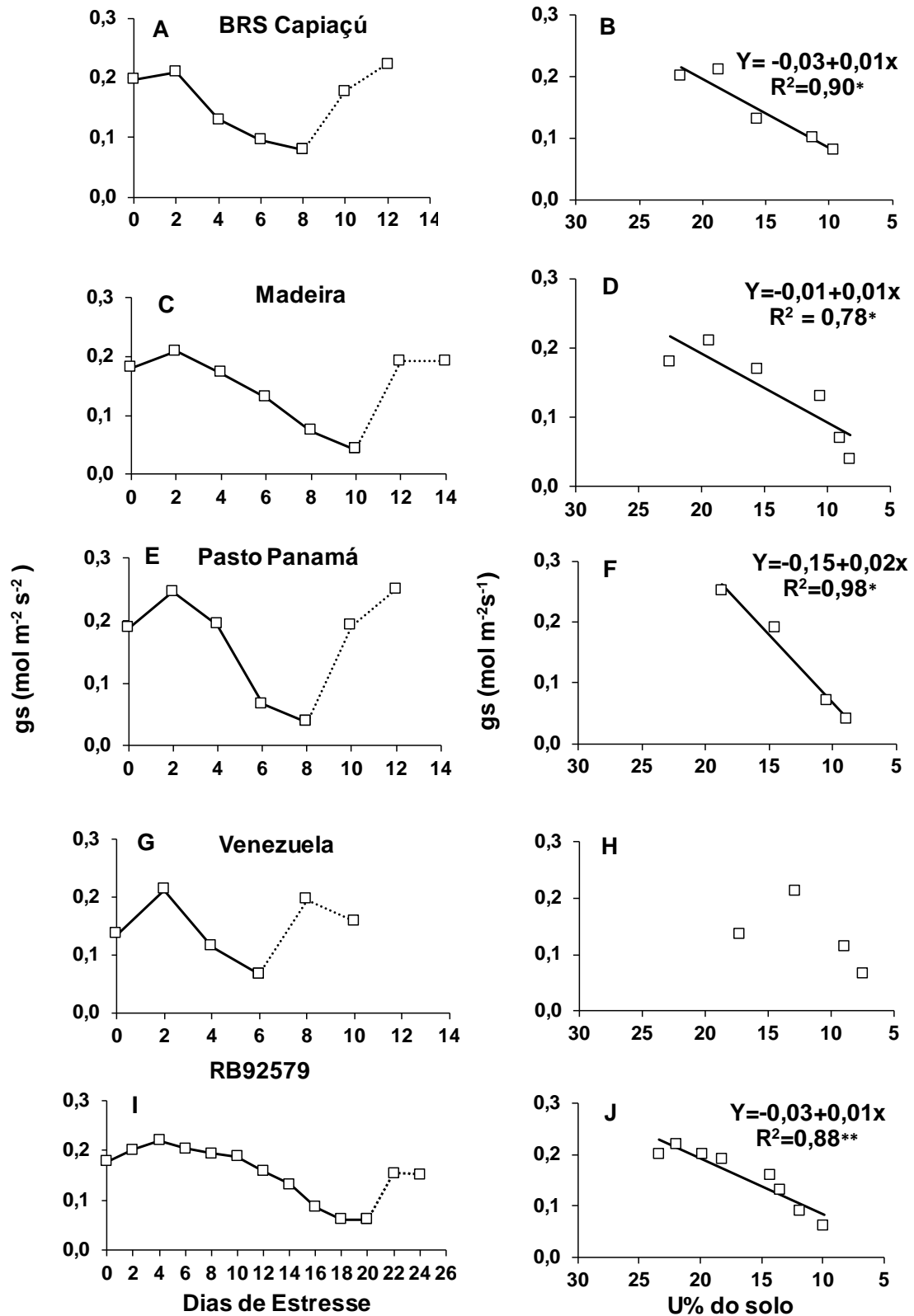
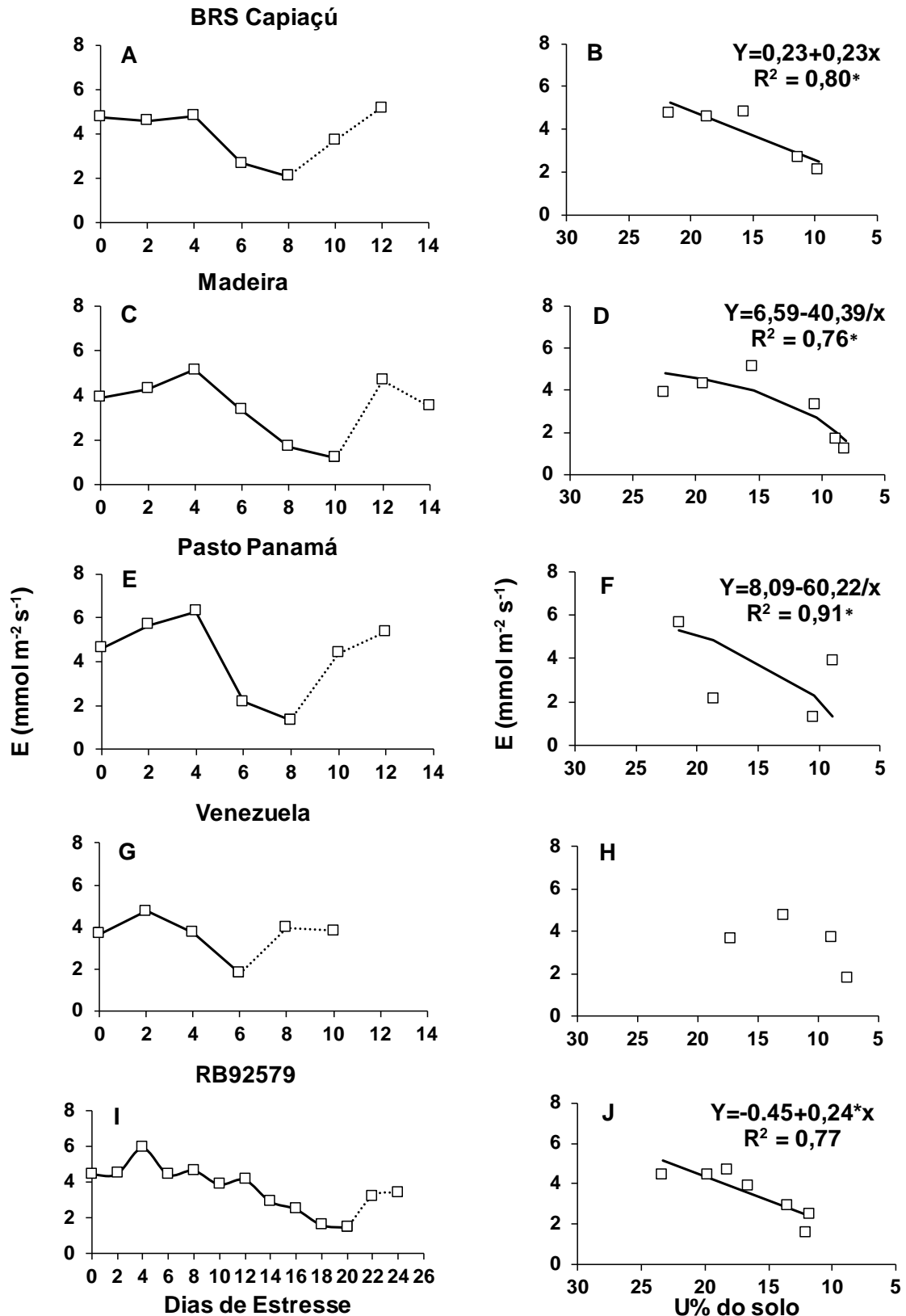


Figura 6. Transpiração em genótipos de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação da transpiração em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J).



A concentração interna de CO₂ e a fotossíntese também foram processos fisiológicos diretamente afetados nas plantas sob deficiência hídrica. Constatou-se que a concentração interna de CO₂ aumentou em todos os genótipos (Figura 7), ao mesmo tempo em que a taxa de fotossíntese diminuiu (Figura 8).

O genótipo Venezuela apresentou maior incremento diário de Ci de 10,5% ao longo do tempo e o mesmo genótipo apresentou sob estresse máximo um aumento total de Ci de 63% (Figura 7G e Apêndice 3). Em contrapartida, o genótipo Madeira, dentre os capins, deteve o menor incremento diário de Ci cerca de 7,8% e, no estresse máximo, aumentou de Ci foi de 78% (Figura 7C e Apêndice 3). A cana RB92579 apresentou um aumento diário de 2,2% da concentração interna de CO₂ (Figura 7I e Apêndice 3). Os genótipos Madeira e Pasto Panamá foram os que mantiveram maior Ci mesmo após os quatro dias de reidratação sendo 61 e 56% maiores em relação ao ponto zero. A relação de Ci e umidade do solo de todos os genótipos, diferentemente das outras variáveis, mostrou um padrão linear negativo, onde a medida em que a umidade do solo diminui a concentração interna de CO₂ aumentou (Figura 7 B, D, F, H, E e J).

O genótipo Venezuela também apresentou a maior redução diária das taxas de fotossíntese, cerca de 10,6%, seguido pelo Pasto Panamá, com uma redução diária de 10,4% ao longo do estresse hídrico (Apêndice 3). Em relação a redução total desses genótipos, pode-se observar que eles apresentaram maiores reduções de 64% e 83%, respectivamente, em condições de estresse máximo (Figuras 8E e G). Os genótipos BRS Capiacu, Madeira e cana RB92579 apresentaram menores reduções diárias nas taxas fotossintéticas (Figura 8A, C e I). A relação da fotossíntese com a umidade do solo segue o padrão linear positivo, comum a todos os genótipos (Figuras 8B, D, F, H E e J) onde a medida em que a umidade do solo diminuiu, a fotossíntese também diminuiu.

Figura 7. Concentração interna de CO₂ em genótipos de capim-elefante (BRS Capiacú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de concentração interna de CO₂ em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J).

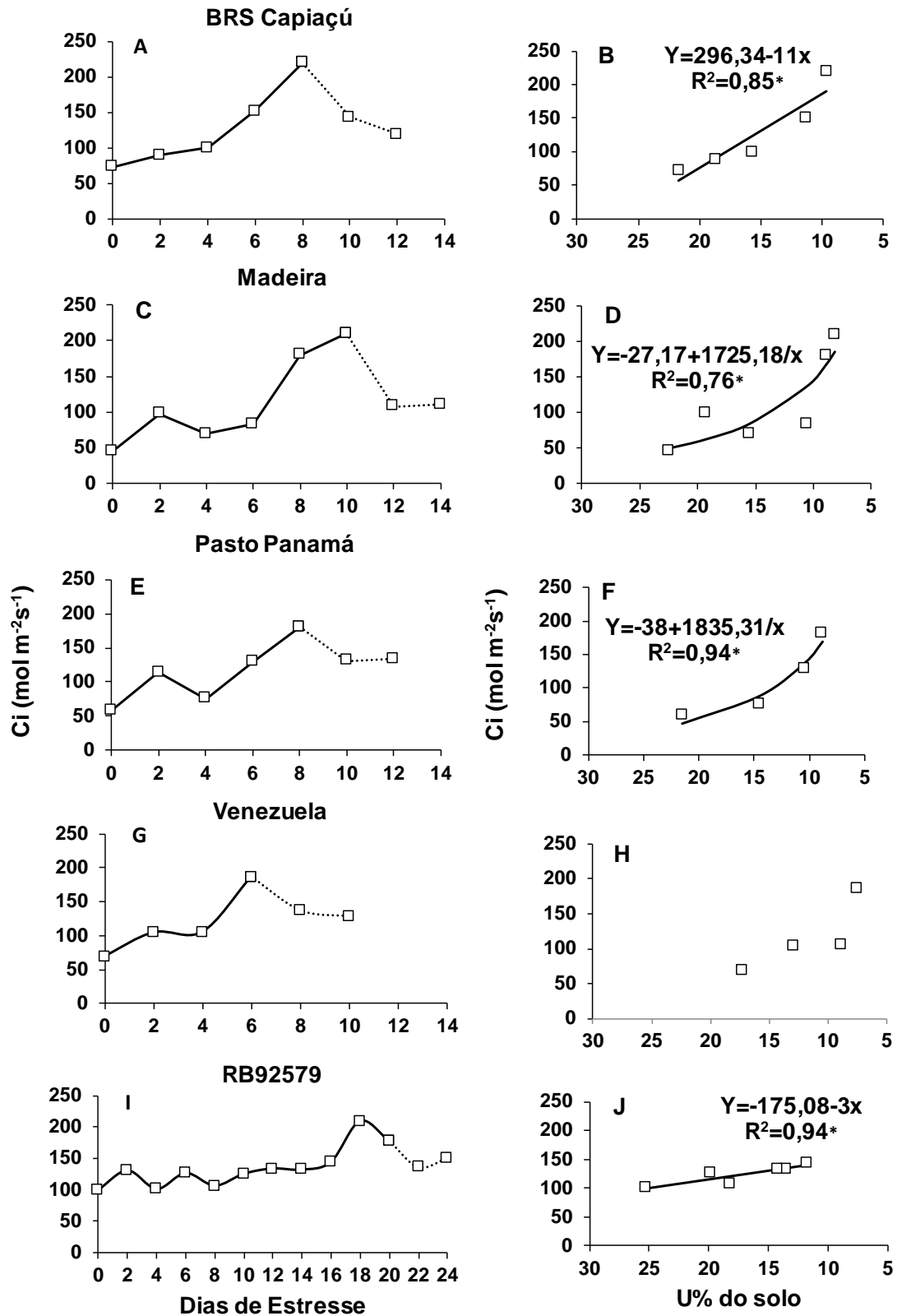
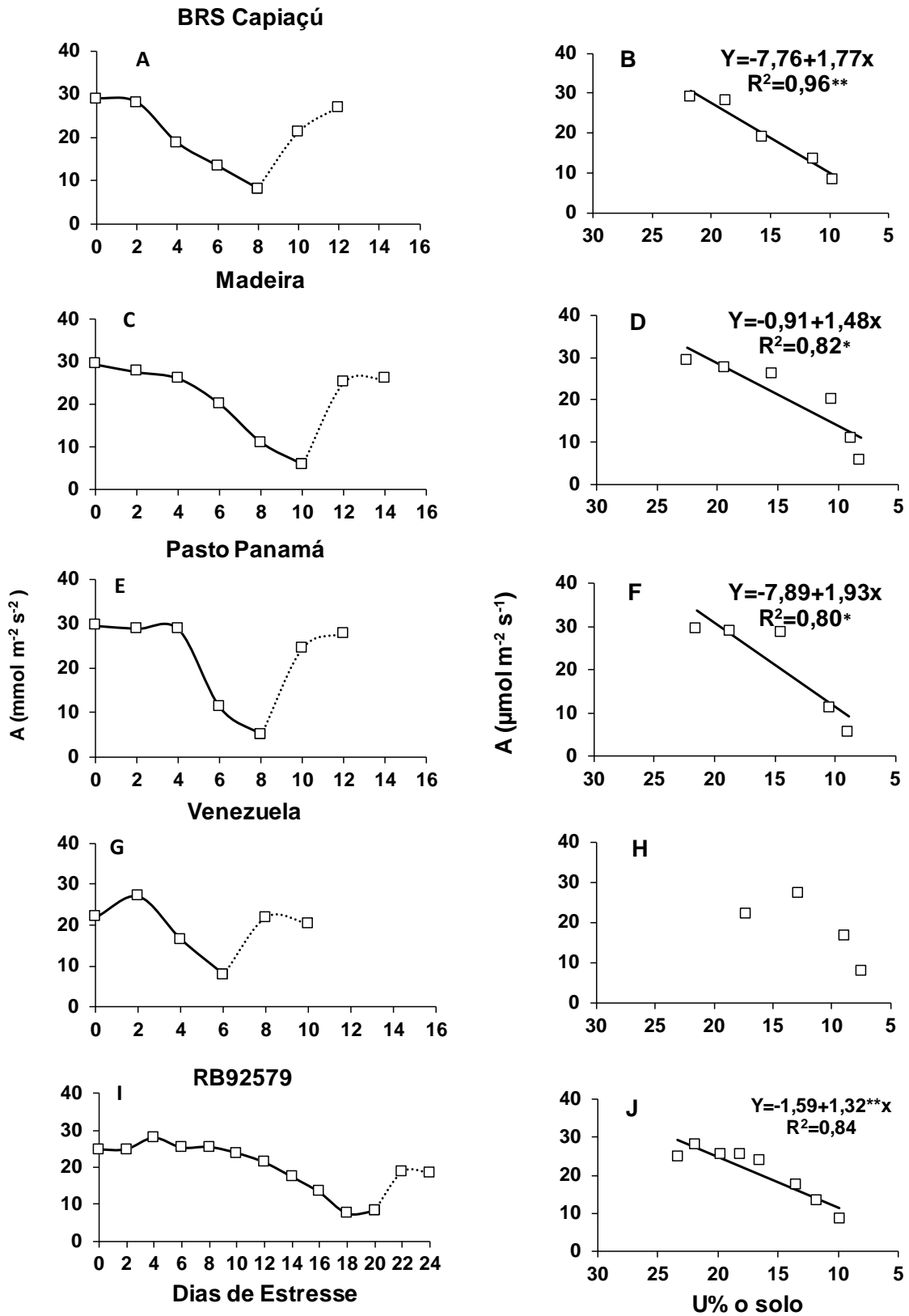


Figura 8. Fotossíntese em genótipos de capim-elefante (BRS Capiacú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de Fotossíntese em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J).



Tanto a eficiência fotoquímica máxima (FV/FM), quanto a eficiência fotoquímica efetiva (Φ PSII), apresentaram redução em todos os genótipos estudados sob estresse hídrico (Figuras 9 e 10).

O genótipo Venezuela entre os capins foi o mais afetado para essas variáveis sob estresse hídrico, apresentando uma redução diária de 5,29% de FV/FM e em condições de estresse máximo essa redução foi de 32%, com valores médios de FV/FM de 0,51 (Figura 9G e Apêndice 3). Seguido de BRS Capiçu e Pasto Panamá que apresentaram reduções diárias de FV/FM em torno de 2,64 e 1,57% respectivamente (Figura 9A e E e Apêndice 3). e quando em condições de estresse máximo a razão de FV/FM chegou a 0,59 em BRS Capiçu e 0,63 Pasto para Panamá sob déficit hídrico (Figura 9A e E).

Por outro lado, o genótipo Madeira apresentou menores reduções diárias de FV/FM em torno de 0,5%, sendo verificado valor de FV/FM de 0,71 sob deficiência hídrica (Figura 9C e Apêndice 3). Já na cana RB92579 o Fv/Fm também apresentou redução intensa com valores médios de 0,51 na condição de estresse severo (Figura 9I). Porém todos os genótipos apresentaram recuperação na reidratação (Figura 9A, C, E, G e I).

Na eficiência fotoquímica efetiva o genótipo Venezuela apresentou a maior redução Φ PSII de 12,8% diariamente do período de seca e uma redução total de 32% no estresse máximo (Figura 10G). O Pasto Panamá também apresentou grande redução diária de Φ PSII de 9% (Figura 10E). Ao analisar a resposta de Φ PSII nos genótipos Madeira e RB92579 foi possível verificar que ambos tiveram uma redução diária de 3% a menor dentre os genótipos estudados (Figura 10C e I).

Figura 9. Eficiência fotoquímica máxima do PSII - Fv/Fm em genótipos de capim-elefante (BRS Capiacú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de FV/FM em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J).

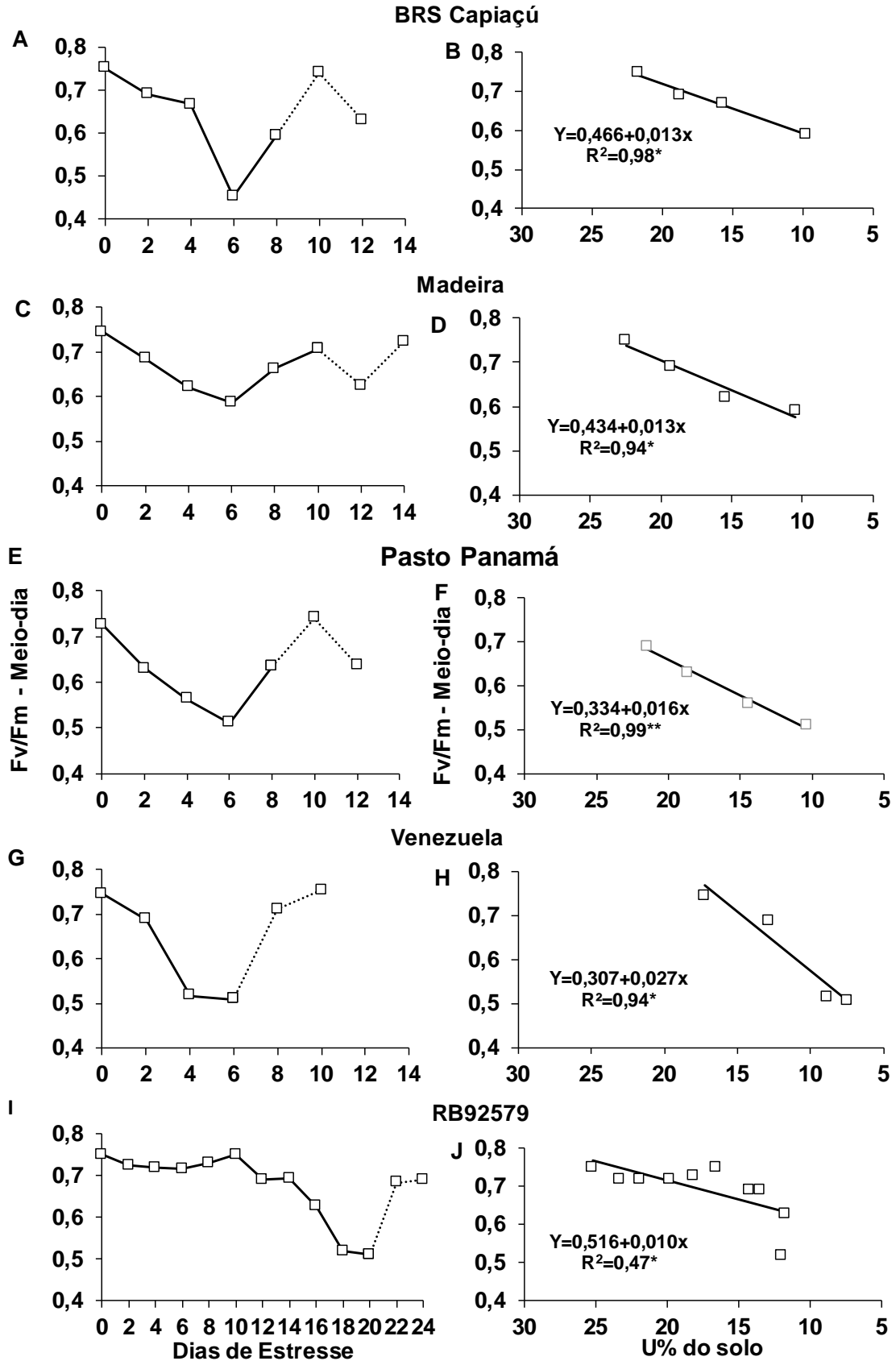
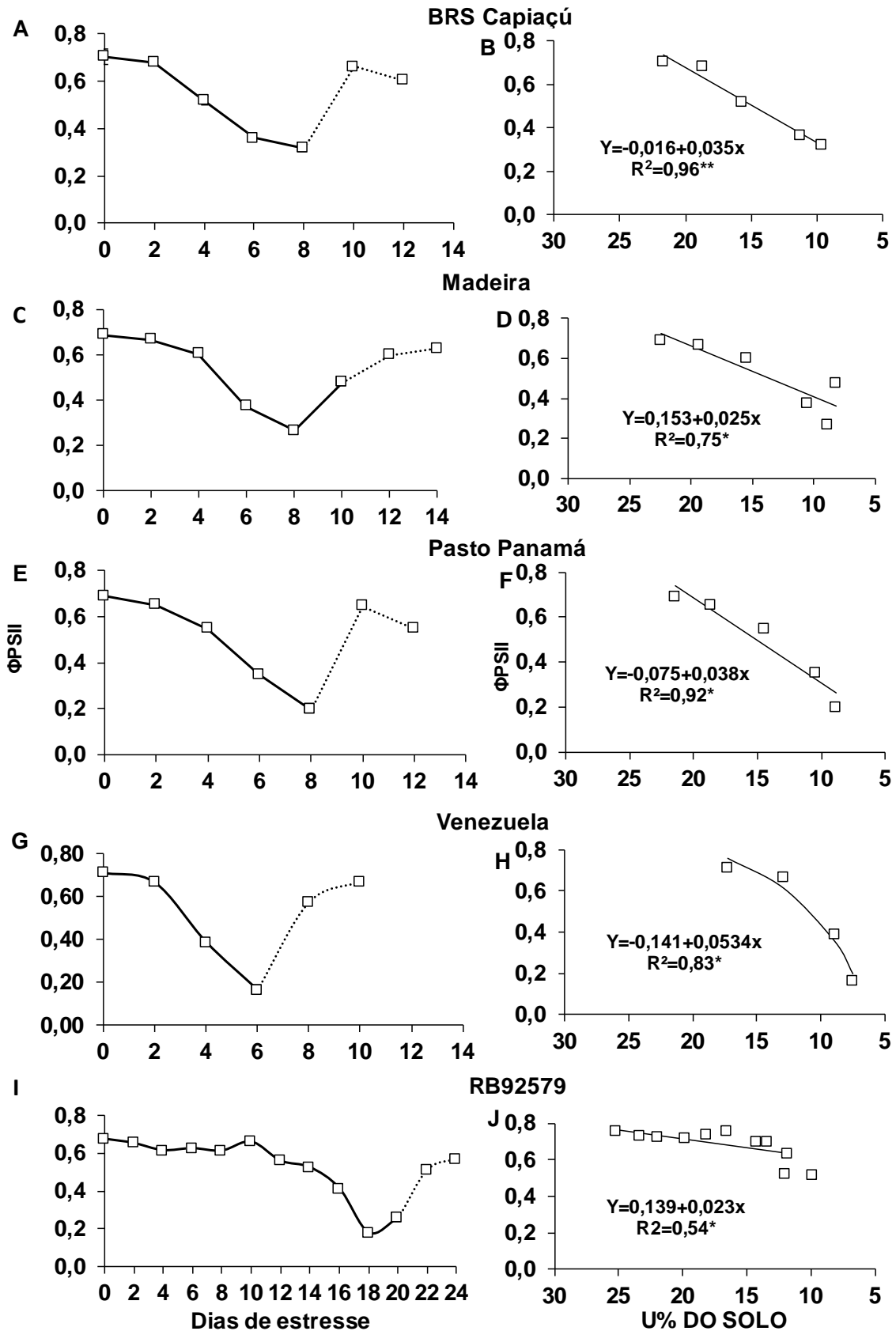
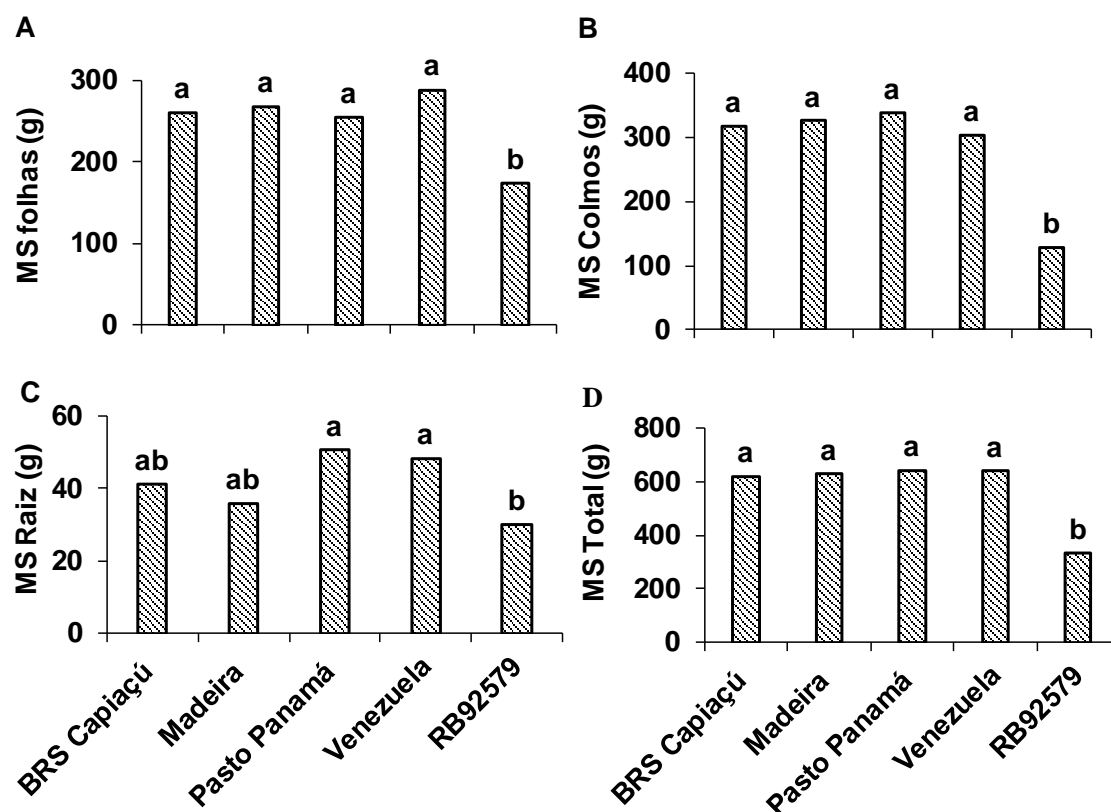


Figura 10. Rendimento efetivo do PSII - Φ PSII em genótipos de capim-elefante (BRS Capiacú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579), sob déficit hídrico (linha contínua) e reidratação (linha pontilhada) ao longo do tempo (A, C, E, G e I) e relação de Φ PSII em função da umidade do solo em cada genótipo sob déficit hídrico (B, D, F, H e J).



A massa seca das folhas (MSF) não diferiu entre os genótipos de capim-elefante os quais apresentaram em média 266 g de MSF (Figura 11A); A cana RB92579, no entanto, quando comparada com o capim-elefante, apresentou uma MSF 40% menor (Figura 11A). O mesmo foi observado na produção de massa seca dos colmos (MSC), em que os genótipos de capim-elefante tiveram a maior MSC de 62%, quando comparados com a cana RB92579 (Figura 11B). Os genótipos Pasto Panamá e Venezuela apresentaram maiores massa seca da raiz (MSR), seguido do BRS Capiaçú, enquanto que os genótipos Madeira e a cana RB92579 apresentaram menores MSR com redução de 29% e 40% respectivamente quando comparado ao Pasto Panamá (Figura 11C).

Figura 11. Massa seca de folha (A), de colmos (B), de raiz (C) e total (D), em cultivares de capim-elefante (BRS Capiaçú, Madeira, Pasto Panamá e Venezuela) e cana-de-açúcar (RB92579) ao final do experimento.



Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre cultivares pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5. DISCUSSÃO

5.1. Caracterização morfológica de genótipos de capim-elefante e cana-de-açúcar

De modo geral, os genótipos de capim-elefante apresentaram comportamento de crescimento vegetativo semelhante na maioria das suas características morfológicas, apesar do genótipo Pasto Panamá ter apresentado maior altura de plantas, Venezuela maior comprimento da folha +3 e o BRS Capiaçú o maior número de perfilhos. De acordo com Silva et al. (2010) o número de perfilhos por metro é uma característica de alta herdabilidade em capim elefante, possibilitando sua transferência em programas de melhoramento da espécie. Oliveira (2013) estudando 73 genótipos de capim-elefante observou que os genótipos também apresentaram variância das características morfológicas como altura, número de perfilho e diâmetro do colmo o que permitiu a separação de grupos entre os genótipos.

Dentre os genótipos de capim, o Pasto Panamá se destacou com a maior altura de plantas e diâmetro do colmo e menor número de perfilhos, o que sugere que esse genótipo usou sua produção de energia para o crescimento da planta ao invés da formação de perfilhos, porém isso não influenciou no aumento da massa seca. Além disso, entre os genótipos de capim elefante não ocorreu variação da massa seca total mesmo com a diferenciação das características morfológicas entre os capins. Segundo Oliveira (2013) o aumento no número de perfilhos nem sempre indica alta produtividade entre os diferentes genótipos de capim elefante. Italiano et al. (2006) estudando o comportamento de capim elefante em condições de campo observaram que os capins com maior altura e diâmetro do colmo apresentaram maior massa verde e seca, também observaram correlação inversa entre circunferência do colmo e número de perfilhos, de acordo com autores quanto mais grosso o colmo menor é o número de perfilho. ZHANG et al. (2010) realizaram análise de agrupamento envolvendo 17 genótipos de capim-elefante e concluíram que o grupo com maior produtividade apresentava poucos perfilhos.

Os genótipos de capim-elefante de forma geral acumularam mais massa seca de raiz, o que indica que esses genótipos têm crescimento radicular inicial mais efetivo do que a cana-de-açúcar.

Nesse trabalho pode-se evidenciar que a cana RB92579 apresentou crescimento mais lento que o capim-elefante, fato verificado nas suas características morfológicas como menor número de folhas, perfilhos, diâmetro do colmo, altura de planta e área foliar, além de massa seca total 50% menor em relação ao capim elefante com dois meses após plantio, fato que

confirma a maior eficiência na produção de biomassa do capim em um período curto em relação à cana. Segundo Quesada et al. (2004) essas diferenças devem-se ao fato de que o capim-elefante apresenta crescimento rápido e ciclo mais curto. Em cerca de seis meses de cultivo as plantas apresentam teor de fibra próximo a 50%, sendo uma característica importante para o material voltado para exploração de energia. Enquanto que a cana-de-açúcar tem ciclo anual e crescimento inicial mais lento onde um ciclo de cana-de-açúcar equivale a dois ciclos do capim-elefante, fazendo com que o cultivo do capim-elefante permita o melhor aproveitamento do uso da terra, em relação a cana-de-açúcar (Quesada et al., 2004).

5.2. Avaliações fisiológicas

A habilidade de uma espécie em desenvolver-se em solo com baixa disponibilidade hídrica pode ser determinada pela eficiência com que essa espécie ajusta seu comportamento fisiológico. Desse modo, a segunda parte desse estudo foi compreender as respostas fisiológicas dos genótipos de capim-elefante e RB92579 à deficiência hídrica na fase vegetativa diante da complexa variação genética dessas espécies. De acordo com Larcher (2004) durante a fase principal de crescimento, vegetativa, as plantas estão no pico de suas atividades metabólicas. É durante essa fase que se manifestam as características da plasticidade fenotípica e, sobretudo, as adaptações em relação às condições do habitat.

O teor relativo de água na folha (TRA) é um indicador do status hídrico da planta e em condição de estresse hídrico possibilita uma análise do estado da água na planta (Silva et al., 2013). A maior redução de TRA da folha do genótipo de capim-elefante Pasto Panamá, sob estresse severo, sugere a maior sensibilidade dessas plantas à seca. Em estudos realizados em outras gramíneas como cana-de-açúcar (Silva et al., 2013; Santos et al., 2015) e milho (Chen et al., 2018) também foram observados que genótipos sensíveis apresentaram maior redução de TRA.

A manutenção do TRA na cana RB92579 sob deficiência hídrica é um indicador do bom grau de hidratação das células e do tecido foliar mesmo sob estresse hídrico, sendo um fator crucial para o ótimo funcionamento fisiológico da planta como o controle estomático (Santos et al., 2015). Estudos de genótipos de cana-de-açúcar sob estresse hídrico têm mostrado que aqueles que mantêm valores de TRA relativamente altos durante a escassez de água possuem forte indicativo de tolerância à seca (CIA et al., 2012; SILVA et al., 2013; Santos et al., 2015).

A condutância estomática (g_s) e transpiração (E) foram reduzidas de forma semelhante ao longo do estresse em todas as plantas. O que evidencia que as condições de baixa umidade no substrato causaram excessivas perdas de água nas folhas, levando ao considerável fechamento estomático. A redução da condutância estomática é indicada por diversos autores como sendo o primeiro mecanismo fisiológico acionado em condições de deficiência hídrica, uma vez que a planta fecha seus estômatos afim de diminuir a perda excessiva de água por transpiração e assim conseguir manter a eficiência no uso da água (Lawlor and Tezara., 2009 e Santos et al., 2015).

Entre os genótipos de capim, o Pasto Panamá e Venezuela apresentaram as maiores reduções diárias da condutância e transpiração, o que sugere maior sensibilidade à deficiência hídrica. Em estudos com capim elefante (Araújo et al., 2010) e outras gramíneas como milho (Chen et al., 2018) e cana-de-açúcar (Graça et al., 2010; Santos et al., 2015) reportaram que maior grau de fechamento estomático foi encontrado em genótipos sensíveis ao déficit hídrico.

Os genótipos de capim elefante BRS Capiaçú, Madeira e a cana RB92579, por outro lado, apresentaram menores reduções diárias de condutância e transpiração sob estresse hídrico, o que demonstra controle estomático mais eficiente nesses genótipos. De acordo com Berry et al. (2010) plantas que possuem melhor controle da função estomática são mais eficientes no uso da água e possuem maior grau de tolerância à seca.

Em condições de boa disponibilidade hídrica, (reidratação) após a seca, a maioria dos genótipos, com exceção do genótipo Madeira, apresentaram aumento da taxa transpiratória e condutância estomática, o que sugere que as plantas recuperaram a turgescência de seus tecidos.

O mesmo foi observado ao relacionar a umidade do solo com a condutância estomática e transpiração, todos os genótipos se ajustaram ao padrão linear positivo em que g_s e transpiração decresceram com a redução da umidade do solo. Sendo o genótipo BRS Capiaçú apresentou um controle estomático mais eficiente em condições de baixa disponibilidade hídrica do solo.

A maior redução diária da fotossíntese das plantas sob estresse hídrico foi observada nos genótipos Pasto Panamá e Venezuela. Estudos em genótipos de capim sob condições de deficiência hídrica também constataram que as maiores reduções da fotossíntese foram observadas em genótipos que sofrem mais a seca (Araújo et al., 2010).

Por outro lado, os genótipos BRS Capiaçú e a cana RB92579 conseguiram manter atividade fotossintética mais alta sob estresse, o que indica que esses genótipos tenham uma

estratégia de manter os estômatos abertos mesmo sob estresse hídrico, o que pode ser indicado como mecanismo fisiológico responsável pela tolerância à seca (Silva et al., 2013). Segundo Endres et al. (2010) a cana RB92579 consegue manter atividade fotossintética alta sob estresse, talvez porque tem uma estratégia de manter os estômatos abertos e enrolamento das folhas.

Os maiores aumentos da concentração interna de CO_2 e redução das taxas fotossintéticas diárias nos genótipos Pasto Panamá e Venezuela em função do estresse hídrico evidenciam que possa ter ocorrido maiores danos ao aparato de fixação de CO_2 resultando na limitação da fotossíntese. De acordo com Ghannoum (2009) A elevação da C_i contribui para o aumento linear da fotossíntese até seu ponto máximo. Incrementos além desse ponto, não ocorrem devido à saturação de CO_2 e por ter ocorrido danos nas enzimas PEP-carboxilase e Rubisco devido ao estresse, o que reduziu a eficiência fotossintética.

Já os genótipos BRS Capiaçú, Madeira e a cana RB92579 apresentaram menores aumentos concentração interna de CO_2 diária, porém com menores reduções da fotossíntese, o que indica que esses genótipos podem apresentar eficiência de fixação de carbono na planta durante período de seca. Quando ocorre a redução da g_s , é esperado que também ocorresse redução da concentração interna de CO_2 se o aparato fotossintético não foi afetado pelo estresse (KONRAD et al., 2005; KALAJI et al., 2011).

A máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II pouco reduziu no genótipo Madeira, mantendo valores de F_v/F_m de 0,7 sob deficiência hídrica, indicando que não foi detectado comprometimento no aparato fotossintético durante a exposição das plantas ao estresse. Segundo Silva et al. (2013) a capacidade de manter alta a razão F_v/F_m sob estresse hídrico pode indicar alta eficiência de uso da radiação, possivelmente pelas reações de assimilação de carbono. Araújo et al. (2010) constataram valor para razão F_v/F_m acima de 0,70 em genótipos de capim-elefante que foram considerados mais tolerantes a deficiência hídrica.

Os genótipos Venezuela e Pasto Panamá apresentaram intensa redução de F_v/F_m com média próxima a 0,6, associada com baixa eficiência fotossintética, o que indica um marcante efeito fotoinibitório, caracterizando fotodano nas reações dos cloroplastos e, portanto, redução do seu potencial fotossintético (Maxwell; Johnson, 2000; Murchie; Niyogi, 2011), o que evidencia a sensibilidade à seca desses genótipos. Estudos em diferentes tipos de gramíneas também relatam reduções mais severas de F_v/F_m com valores abaixo de 0,7 em genótipos mais suscetíveis à deficiência hídrica (Graça et al., 2010; Santos et al., 2015; Chen et al., 2018).

Por outro lado, os genótipos BRS Capiaçú e a cana RB92579 mesmo apresentando redução de intensa de F_v/F_m ou forte fotoinibição, mantiveram uma maior capacidade

fotossintética em relação aos outros genótipos no período de estresse, o que sugere nesse caso, que a fotoinibição nesses genótipos não deverá ser vista como um dano, mas sim como um mecanismo de proteção que permite dissipar o excesso de energia termal nas plantas (Takahashi e Badger, 2011).

Os genótipos Venezuela e Pasto Panamá também apresentaram grandes reduções de Φ_{PSII} sob deficiência hídrica, evidenciando um menor aproveitamento da energia luminosa, o que contribuiu para redução da fotossíntese e maior fotoinibição das plantas neste período. O Φ_{PSII} mede a proporção da luz absorvida pela clorofila associada ao fotossistema II que é utilizado em fotoquímica. Como tal, ele pode fornecer uma medida da taxa de transporte de elétrons, portanto, uma indicação da fotossíntese geral (Maxwell and Johnson, 2000).

6. CONCLUSÃO

Os genótipos de capim-elefante têm crescimento inicial maior que a cana-de-açúcar, apresentando maiores números de folhas e perfilho, diâmetro do colmo, altura de planta e área foliar, resultando em um maior acúmulo de biomassa da cana-de-açúcar aos 68 dias após o plantio.

As estratégias desencadeadas pelo genótipo BRS Capiáçu, como menores reduções do teor relativo de água na folha, condutância estomática, transpiração, fotossíntese e eficiência fotoquímica efetiva em condições de estresse hídrico proporcionam ao mesmo, melhor capacidade de tolerância à seca.

Os genótipos Pasto Panamá e Venezuela possuem características fisiológicas de mais susceptibilidade à seca.

As variáveis g_s , E , A , C_i , Φ_{PSII} e TRA são potenciais indicadores fisiológicos confiáveis para serem usados na seleção de genótipos de capim-elefante mais tolerantes à deficiência hídrica, que podem ser facilmente utilizados no campo.

7. REFERÊNCIAS

- ALMESELMANI, M. et al. Physiological Attributes Associated to Water Deficit Tolerance of Syrian Durum Wheat Varieties. **Experimental Agriculture & Horticulture**, Canada, v.1, n.1, p.21- 41, 2012. ID:1929-0861-2012-08
- ARAÚJO, S.A.C.A. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/8961/8961>>. Acesso em: 22 jun. 2017. DOI: 10.4025/actascianimsci.v32i1.8961
- BARRETO, G.P. et al. Avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um híbrido com o milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) submetidos a estresse hídrico. 1. Parâmetros morfológicos. **Rev. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 7-11, jan/fev., 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v30n1/5426.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- BERRY, J. A., BEERLING, D. J.; FRANKS, P. J. Stomata: key players in the earth system, past and present. **Curr. Opin. Plant Biol.**, Amsterdam, v.13, n. 3, p. 232-239, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526610000567>>. Acesso em: 14 set. 2018. DOI: 10.1016/j.pbi.2010.04.013
- BOHNERT, H.J.; NELSON, D.E.; JENSEN, R.G. Adaptations to environmental stresses. **Plant Cell**, Waterbury, v.7, n. 7, p. 1099-1111, jul., 1995. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC160917/>>. Acesso em: 03 abr. 2018. DOI: 10.1105/tpc.7.7.1099
- CARVALHO M.H.C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling & Behavior**, v.3, 156-165, 2008.
- CHAVES, M.M. et al. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v.89, n. 7, p. 907-916, 2002. Disponível em: <<https://academic.oup.com/aob/article/89/7/907/151103>>. Acesso em: 27 fev. 2018. DOI: 10.1093/aob/mcf105
- CHEN, D. et al. Genotypic Variation in Growth and Physiological Response to Drought Stress and Re-Watering Reveals the Critical Role of Recovery in Drought Adaptation in Maize Seedlings. **Front. Plant Sci**, v. 6, n. 1241, p. 1-15, 2016. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.01241/full>>. Acesso em: 30 nov. 2018. DOI: 10.3389/fpls.2015.01241

CHIES, V. Gigante Energético: Capim-elefante é alternativa para gerar energia termoeétrica e substituir lenha. **XXI Ciência para a vida Embrapa**, Brasília, n. 10, p. 40-45, maio/ago., 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1019719/xxi-ciencia-para-a-vida-embrapa-agrossistemas-e-producao-sustentavel>>. Acesso em: 07 out. 2018.

CIA, M.C. et al. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and -sensitive sugarcane varieties. **Ann. Appl. Biol.**, v.161, n. 3, p.313-324, oct., 2012. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1744-7348.2012.00575.x>>. Acesso em: 09 ago. 2018. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2012.00575.x

CUNHA, M.V. **Utilização de parâmetros genéticos na seleção de clones de Pennisetum sp., Zona da Mata Seca de Pernambuco**. 90 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2008. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/6883>>. Acesso em: 12 nov. 2017. DOI: 10.1590/S1516-35982001000100002

ENDRES, L. et al. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, Dundee, v.4, p.31-37, 2010. Disponível em: <<https://benthamopen.com/ABSTRACT/TOASJ-4-31>>. Acesso em: 27 jul. 2017. DOI: 10.2174/1874331501004010031

FAO Food and Agriculture Organization of the United States. **Production and food security**. Disponível em <<http://www.fao.org/3/Y3918E/y3918e04.htm#TopOfPage>>. Acesso em: 07 out. 2018.

FARIA, V. P. Evolução do uso do capim-elefante: uma visão histórica. In: SIMPÓSIO MANEJO DA PASTAGEM, 10, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1992. 329 p.
FREITAS, E.V. et al. Capim-elefante: origem, taxonomia e caracterização. In: LIRA, M. A. et al. **Capim-elefante: fundamentos e perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010. Cap. 1, p. 15-28.

GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p.635-644, feb. 2009. Disponível em: <<https://academic.oup.com/aob/article/103/4/635/163786>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1093/aob/mcn093

GHOLAMI, M. RAHEMI, M.; RASTEGAR, S. Use of rapid screening methods for detecting drought tolerant cultivars of fig (*Ficus carica* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 143, n. 16, p.7-14, aug., 2012. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423812002336>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.05.012

GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n4/v14n04a06>>. Acesso em: 07 out. 2018.

GRAÇA, J. P. et al. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Braz. J. Plant Physiol.**, Londrina, v. 22, n. 3, p.189-197, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1677-04202010000300006&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 out. 2018. DOI: 10.1590/S1677-04202010000300006

GUAN, X. K. et al. Effect of Drought on the Gas Exchange, Chlorophyll Fluorescence and Yield of Six Different-Era Spring Wheat Cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 201, p. 253-266, 2015. Disponível em: <<https://onlineibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jac.12103>>. Acesso em: 22 jul. 2018. DOI: 10.1111/jac.12103

ITALIANO, E. C.; PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. S. Comportamento produtivo de genótipos de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) para corte na região Meio-Norte do Brasil. **Rev. Cient. Prod. Anim.**, v.8, n.2, p.47-55, 2006. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/rcpa/article/view/390>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.15528/390

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima artes, 2004. 531p.

LAWLOR, D.W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, Oxford, v.103, n. 4, p.561-579, 2009. Disponível em: <<https://academic.oup.com/aob/article/103/4/561/164639>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1093/aob/mcn244

LÉDO, F. J. S.; MACHADO, J. C. Construindo um ideótipo de gramínea para produção de energia. In: SOUZA, F. H. D.; MATTA, F. P.; FÁVERO, A. P. **Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 227-236.

LU, C.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, n. 336, p.

1199-1206, 1999. Disponível em:
<<https://academic.oup.com/jxb/article/50/336/1199/515756>>. Acesso em: 07 out. 2018.
DOI: 10.1093/jxb/50.336.1199

MARAFON, A. C et al. Potencial produtivo e qualidade da biomassa de capim-elefante para fins energéticos. **Circular Técnica**, Aracaju, n. 68, 2014. 6 p. Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1014374>>. Acesso em: 08 out. 2018.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000. Disponível em:
<<https://academic.oup.com/jxb/article/51/345/659/652534>>. Acesso em: 15 mar. 2018.
DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659

MORAIS, R. F. et al. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v. 44, n. 2, 2009. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-204x2009000200004&script=sci_arttext>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000200004

MURCHIE, E. H.; NIYOGI, K. K. Manipulation of Photoprotection to Improve Plant Photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 155, p. 86-92, 2011. Disponível em:
<<http://www.plantphysiol.org/content/155/1/86.short>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1104/pp.110.168831

OLIVEIRA, A. V. **Avaliação do desenvolvimento e de características morfoagronômicas e qualidade de biomassa energética de 73 genótipos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes - RJ**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2013. Disponível em:
<http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/PRODVEGETAL_3434_1372698016.pdf>. Acesso em: 08 out. 2018.

PACIULLO, D. S. C. et al. (2003). Morfogênese e acúmulo de biomassa foliar em pastagem de capim-elefante avaliada em diferentes épocas do ano. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 881-887, jul. 2003. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n7/18211.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2017.

PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. S. Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. In: RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; JANK, L. **Melhoramento de Forrageiras Tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008. p. 89-116.

PEREIRA, Thulio Cícero Guimarães. **Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético. Edição digital.** Copel, 2014.

QUESADA, D. M. et al. Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) 51 estudados para a produção de energia através da biomassa. **Circular Técnica 8**, Seropédica, 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/627821/1/cit008.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2018.

QUESADA, D.M. Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com potencial para uso energético, na forma de carvão vegetal. 65 f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2005.

SAMSON, R. et al. The potential of C₄ perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 24, n. 5-6, p. 461-495, 2005. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352680500316508>>. Acesso em: 07 out. 2017. DOI: 10.1080/07352680500316508

SANCHEZ, A.C.; SUBUDHI, P.K.; ROSENOW, D.T. Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Plant Molecular Biology**, v. 48, n 5-6, p. 713-726, 2002. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1014894130270>>. Acesso em: 27 jul 2018.

SANTOS, C. M. et al. Physiological Changes Associated with Antioxidant Enzymes in Response to Sugarcane Tolerance to Water Deficit and Rehydration. **Sugar Tech**, v.17, n. 3, 291-304, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-014-0325-2>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

SANTOS, E. A.; SILVA, D. S.; QUEIROZ FILHO, J. L. Aspectos produtivos do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum.) cv. Roxo no brejo paraibano. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 30, n. 1, p. 31-36, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbz/v30n1/5431.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SANTOS, M. C. S. et al. Comportamento de clones de *Pennisetum* submetidos a períodos de restrição hídrica controlada. **Arch. Zootec.**, Córdoba, v. 60, n. 229, p. 31-39, mar., 2011. Disponível em: <http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0004-05922011000100004&script=sci_arttext&tlng=en>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.4321/S0004-05922011000100004

SCHMER, M. R. et al. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. **PNAS**, v. 105, n. 2, p. 464-469. 2008. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/105/2/464/>>. Acesso em: 08 out. 2018. DOI: 10.1073/pnas.0704767105

SILVA, A. L. C. et al. Variabilidade e herdabilidade de caracteres morfológicos em clones de capim-elefante na Zona da Mata de Pernambuco. **Rev. Bras. Zootec.**, 39:2132-2140. 2010. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XS2010U00331>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

SILVA, A. S. et al. Biomassa como fonte de energia renovável. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (eds.). **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. Viçosa: UFV, 2013. p. 629-646.

SILVA, M. A. et al. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, Curitiba, v. 56, n. 5, p. 735-748, set/out., 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132013000500004&script=sci_arttext>. Acesso em: 27 jul. 2018. DOI: 10.1590/S1516-89132013000500004

SILVA, M. C. et al. Ensaios preliminares sobre autofecundação e cruzamentos no melhoramento do capim-elefante. **Rev. Bras. Zootec**, v. 37, n. 3, p. 401-410. 2008. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XS2008280304>>. Acesso em: 07 out. 2018.

SILVA, M.A. et al. Use of Physiological Parameters in Screening Drought Tolerance in Sugarcane Genotypes. **Sugar Tech**, v. 13, n. 3, p. 178-184, 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-011-0087-z>>. Acesso em: 27 jul. 2018. DOI: 10.1007/s12355-011-0087-z

SOUZA, F. H. D.; SILVEIRA, G. C.. A palhada residual da produção de sementes de capins tropicais no Brasil. In: Souza, F. H. D. (Eds.). **Usos alternativos da palhada residual da produção de sementes de pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. p. 13-28.

STICKLEN, M. B. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. **Nature Reviews Genetics**, v. 9, n. 6, p. 433-443, 2008. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nrg2336>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

TAKAHASHI S.; BADGER M. R. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. – **Trends Plant Sci.** v. 16, n. 1, p. 53-60, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138510002116>>. Acesso em: 22 jul. 2018. DOI: 10.1016/j.tplants.2010.10.001

TAKAHASHI, S.; BADGER, M.R. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. **Trends Plant Sci.**, v.16, p.53-60, 2011.

VERSLUES, P. E. et al. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **Plant Journal**, v. 46, n. 4, p. 523-539, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x

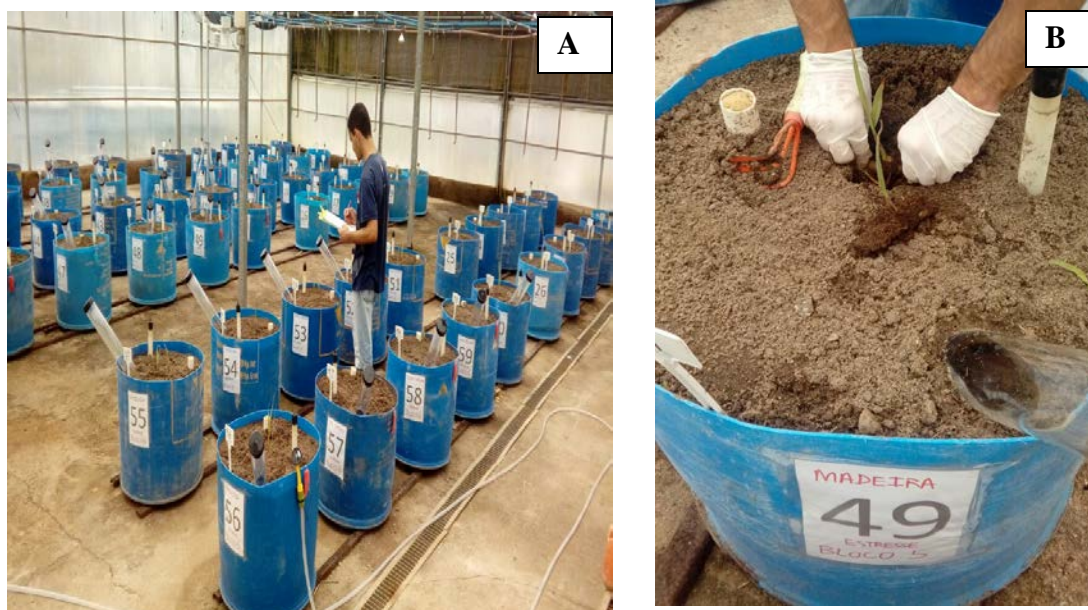
VIOLANTE, M. H. S. R. **Potencial de produção de cana-energia em áreas agrícolas marginais no Brasil.** 113 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10438/10222>>. Acesso em: 07 out. 2018.

YUAN, J.S. et al. Plants to power: bioenergy to fuel the future. **Trends in Plant Science**, v.13, p. 421-429, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138508001775>>. Acesso em: 07 out. 2018. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.06.001

ZANETTI, J. B. **Identificação de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos.** 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: <<https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2527>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

ZHANG, X. et al. Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum*. **Tropical Grasslands**, v. 44, p. 95-102, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/267770731_Path_coefficient_and_cluster_analyses_of_yield_and_morphological_traits_in_Pennisetum_purpureum>. Acesso em: 07 out. 2018.

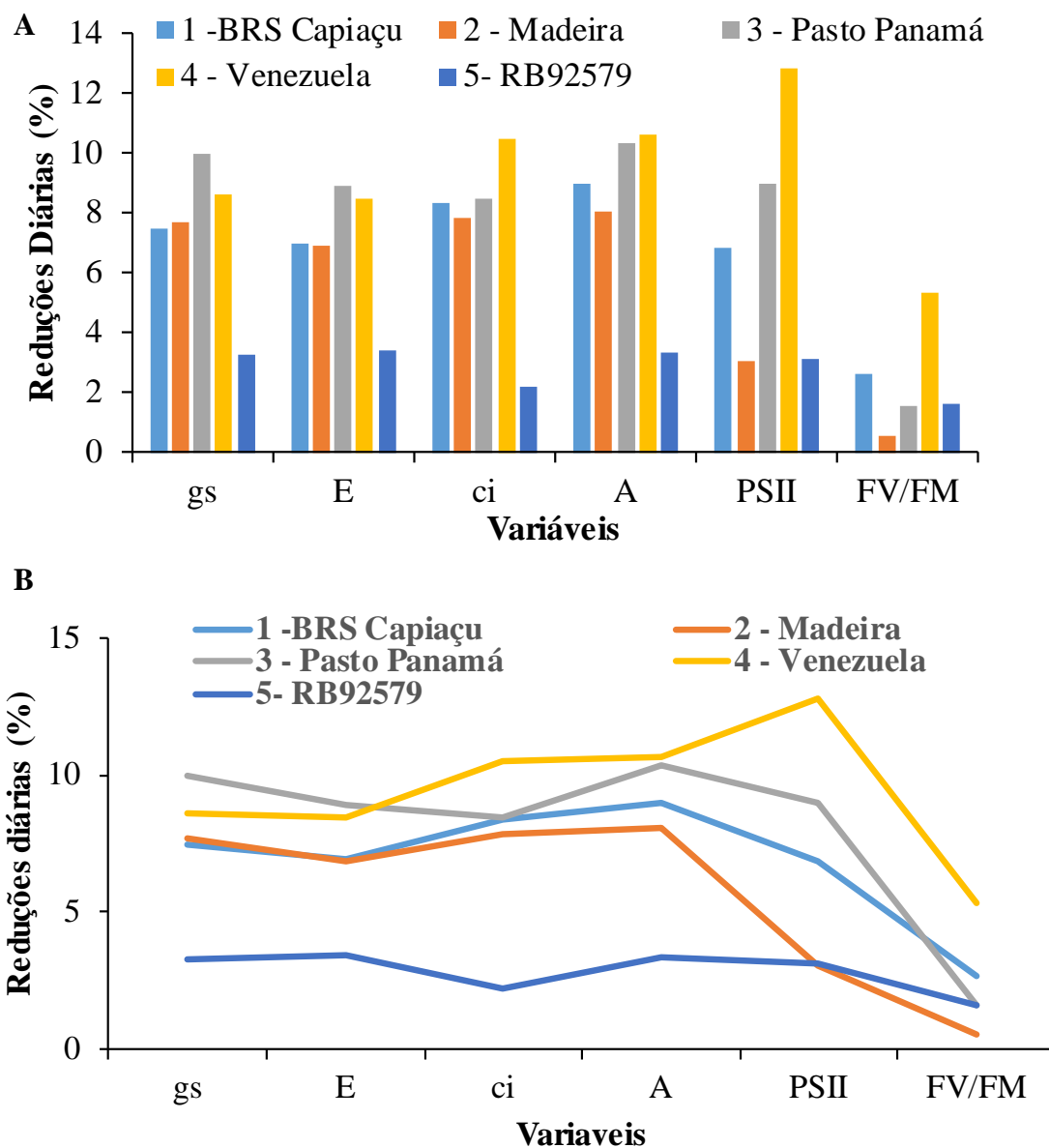
8. APÊNDICES



APÊNDICE 1. Vista parcial do experimento no dia do transplântio das mudas 15 DAP (A); transplântio das mudas nas bombonas (B).



APÊNDICE 2. Vista parcial do experimento aos 60 DAP.



APÊNDICE 3. Percentual de reduções diárias das variáveis fisiológicas: condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência fotoquímica efetiva (Φ PSII) e eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) em condições de estresse máximo, quando comparadas com o ponto zero (primeiro dia do estresse), de capim elefante e cana-de-açúcar (A e B).