

Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*

Hydric deficiency in genotypes of *Brachiaria brizantha*

Cristiana de Gaspari Pezopane^{I*} Patrícia Menezes Santos^I Pedro Gomes da Cruz^{II}
Jonas Altoé^I Felipe Azevedo Ribeiro^I Cacilda Borges do Valle^{III}

RESUMO

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Embrapa Pecuária Sudeste, utilizando acessos de *Brachiaria brizantha*. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com arranjo fatorial 2 X 4, sendo dois tratamentos (com e sem déficit hídrico) e quatro genótipos. O grupo de genótipos avaliado foi formado pelas cultivares 'BRS Piatã', 'Marandú', 'Xaraés' e 'BRS Paiaguás', sendo o experimento realizado durante o mês de julho de 2008. As variáveis analisadas foram massa seca total, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz, massa seca de colmo, massa seca de folha, taxa de alongamento foliar, área foliar, área foliar específica. O estresse por deficiência hídrica exerceu efeito negativo em todas as características estudadas e em todos os acessos avaliados. A cultivar 'BRS Piatã' foi o genótipo que menos apresentou alteração entre os tratamentos com e sem déficit hídrico, indicando portanto, tolerância dessa cultivar em relação ao estresse por falta de água no solo nessas condições experimentais.

Palavras-chave: estresse abiótico, acessos, taxa de alongamento, área foliar.

ABSTRACT

The experiment was conducted in a greenhouse at Embrapa Southeast Livestock, using *Brachiaria brizantha* accessions. The experimental design was fully randomized blocks with a 2 x 4 factorial arrangement, with two treatments (with and without water deficit) and four genotypes. The group evaluated was formed by genotypes 'BRS Piatã', 'Marandú', 'Xaraés' and 'BRS Paiaguás'. The experiment was conducted during the month of July 2008. The variables analyzed were dry mass of total plant, shoot mass, leaves, stems and roots, leaf elongation rate, leaf area and specific leaf area. The water deficit stress exerted negative effect on all characteristics studied and in all accessions. 'BRS Piatã' was the genotype that showed less change between treatments with and without water

deficit, thus indicating tolerance of this cultivar in relation to water stress in the soil under these experimental conditions.

Key words: abiotic stress, accession, elongation rate, leaf area.

INTRODUÇÃO

O Brasil se baseia na utilização de pastagens para a exploração pecuária, sendo cerca de 170 milhões de hectares cultivados por plantas forrageiras (IBGE, 2006). Dentro dessa extensão do território usado para a prática pecuária, existe grande diversidade nas condições de plantio de forrageiras, incluindo áreas alagadas ou encharcadas, com baixo índice de precipitação, baixa fertilidade de solo, além de áreas aptas ao cultivo. Portanto, devido ao cultivo de plantas forrageiras em áreas marginais, há a necessidade de estudos que avaliem e identifiquem genótipos com características de tolerância a estresses abióticos.

Das espécies forrageiras cultivadas no Brasil, o gênero *Brachiaria* é o mais utilizado, devido ao fato de apresentar alta produção de matéria seca, boa adaptabilidade, facilidade de estabelecimento, persistência, bom valor nutritivo, poucos problemas com doenças, além de apresentar bom crescimento durante a maior parte do ano, inclusive no período seco (COSTA et al., 2005).

O gênero *Brachiaria* compreende cerca de 100 espécies originárias, principalmente do

^IEmbrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, Km 234, s/nº, Fazenda Canchim, CP 339, 13560-970, São Carlos, SP, Brasil.

E-mail: cristiana.gaspari@gmail.com. *Autor para correspondência

^{II}Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, Brasil.

^{III}Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Brasil.

continente Africano (KELLER-GREIN et al., 1996). A espécie mais plantada no Brasil atualmente é a *Brachiaria brizantha* (PEDREIRA et al., 2009), com acessos coletados em áreas com grande amplitude na precipitação pluvial anual variando de 590 a 2.770 e com períodos de seca de 0 a 7 meses (KELLER-GREIN et al., 1996). As principais cultivares da espécie *B. brizantha* são ‘Marandu’, ‘BRS Piatã’, ‘La Libertad’ e ‘Xaraés’, apresentando grande potencial de adaptação às condições tropicais brasileiras (VALLE et al., 2011).

Em plantas, o estresse abiótico desencadeia uma série de respostas a partir de alterações da expressão gênica e do metabolismo celular (BRAY et al., 2000), causando diminuição do potencial osmótico. Consequentemente, reduzindo o turgor celular ocorre uma diminuição acentuada na taxa de expansão foliar e taxa geral de crescimento da planta (DUQUE et al., 2013).

Na eficiência do uso da água (EUA) ou na tolerância a deficiência hídrica, a planta utiliza mecanismos fisiológicos e anatômicos que retardam a desidratação como uma diminuição da atividade celular para a manutenção do potencial osmótico, como uma tentativa para conter a desidratação celular (ZHENG et al., 2000; DUQUE et al., 2013). Entre os genótipos existe grande variabilidade quanto a essa característica de sobreviver em condições de deficiência hídrica. As principais mudanças que uma planta submetida ao estresse hídrico apresenta são: menor crescimento, redução da área foliar, maior crescimento do sistema radicular, enrolamento das folhas, redução de turgor, fechamento dos estômatos, abscisão floral e alteração na permeabilidade da cutícula (XOCONOSTLE-CAZARES et al., 2010; BASTOS et al., 2011; VARSHNEY et al., 2011; SILVA et al., 2011). Todas essas alterações citadas anteriormente limitam a produtividade, ocasionando danos ao produtor.

O desenvolvimento de cultivares tolerantes ao déficit hídrico e mais eficientes no uso da água é uma das alternativas para o cultivo em ambientes com restrições hídricas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi comparar duas condições de cultivo em relação à disponibilidade hídrica, deficiência e condições ideais, em diferentes genótipos de *Brachiaria brizantha*.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos em casa-de-vegetação na Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos, estado de São Paulo. O material vegetal usado de *Brachiaria brizantha* foram as cultivares ‘BRS

Piatã’, ‘Marandu’, ‘Xaraés’ e ‘BRS Paiaguás’. O experimento foi realizado durante o mês de julho do ano de 2008. Os acessos de *Brachiaria brizantha* utilizados no experimento foram provenientes do banco de germoplasma mantido pela Embrapa Gado de Corte, localizada na cidade de Campo Grande, MS. O delineamento experimental foi de blocos completos ao acaso em arranjo fatorial 4x2 (quatro acessos e duas condições hídricas), com quatro repetições. Os blocos foram alocados de acordo com o gradiente de umidade presente na estufa.

Os vasos foram preenchidos com 7kg de solo seco ao ar com as seguintes características químicas e físicas: pH H₂O 6,6; pH CaCl₂ 5,7; M.O 22g dm⁻³; P resina 27mg dm⁻³; K 3,3mmolc dm⁻³; Ca 25mmolc dm⁻³; Mg 9mmolc dm⁻³; H+Al 22mmol dm⁻³; Al 0mmolc dm⁻³; CTC 60mmolc dm⁻³; S 37mmolc dm⁻³; V 62%; m 0%; (Ca+Mg) / K-10; S.SO₄ 4mg dm⁻³; B 0,16mg dm⁻³; Cu 2,2mg dm⁻³; Fe 13mg dm⁻³; Mn 4,0mg dm⁻³; Zn 0,5mg dm⁻³; Areia 541g kg⁻¹; Argila 389g kg⁻¹; Silte 70g kg⁻¹.

Antes de ser colocado nos vasos, o solo foi peneirado e corrigido com calcário. A dose de calcário foi calculada pelo método da saturação por bases com o objetivo de atingir 70% de saturação. Para promover a reação do calcário, os vasos foram irrigados até 80% da capacidade de campo por um período de 25 dias. Em seguida, foi feita a adubação com: 150mg kg⁻¹ N; 200mg kg⁻¹ P; 75mg kg⁻¹ K; 0,5mg kg⁻¹ B; 1,5mg kg⁻¹ Cu; 3mg kg⁻¹ Mn e 5mg kg⁻¹ Zn (MALAVOLTA, 1980).

O plantio foi feito diretamente nos vasos e, quando as plantas apresentavam três folhas completamente expandidas, foi feito um desbaste deixando cinco plantas por vaso. Após a completa expansão da sexta folha, a irrigação dos vasos do tratamento com estresse hídrico foi suspensa, enquanto os vasos do tratamento testemunha (sem estresse hídrico) continuaram sendo irrigados até 90% da capacidade de campo. A coleta final foi feita sete dias após o início do tratamento.

As avaliações incluíram as variáveis taxa de alongamento foliar (cm perfilho⁻¹ dia⁻¹), massa seca de hastes (g vaso⁻¹), massa seca de folhas (g vaso⁻¹), massa seca de raízes (g vaso⁻¹), massa seca de parte aérea (g vaso⁻¹), massa seca total (g vaso⁻¹), área foliar (cm² vaso⁻¹) e área foliar específica (cm² g⁻¹).

A taxa de alongamento foliar foi avaliada a partir do aparecimento da sexta folha de um perfilho, identificado com fios de arame coloridos, em duas plantas por vaso. As avaliações foram feitas diariamente medindo-se o comprimento da ponta da folha até a lígula da folha mais nova completamente expandida.

No dia da coleta, a parte aérea das plantas foi cortada e separada em lâminas foliares e haste e pesadas. As lâminas foliares foram imediatamente encaminhadas para a determinação da área foliar com o auxílio do integrador de área foliar (LI-COR modelo LI-3100C). As raízes foram lavadas em água corrente com o auxílio de peneira de 1mm e em seguida pesadas. A massa seca de lâminas foliares, hastes e raízes foi determinada após a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 48 horas. A área foliar específica é a relação da área foliar total (cm²) pela massa seca de folhas (g).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo procedimento GLM do SAS (LITTELL et al., 2006) considerando como fontes de variação os efeitos de bloco, de acessos, de condição hídrica e da interação entre acessos e condição hídrica. Na comparação múltipla das médias foi adotado o teste de Tukey, em nível de significância de 5%. Para a análise de agrupamento foi utilizado o programa Past (HAMMER et al., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A baixa umidade no solo causa a menor produção ou até mesmo a morte das plantas. Observou-se nesse experimento que o estresse hídrico determinou redução de todas as características avaliadas, em todos os acessos estudados (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

A taxa de alongamento foliar apresentou maior redução nos genótipos Marandu (94%) e Xaraés (93%) e a menor redução foi observada na cultivar 'BRS Piatã' (62%), seguida por 'BRS Paiaguás' (81%) (Tabela 2). Para a variável área foliar específica, as reduções foram ao redor de 50% para todos os materiais estudados, sendo a menor redução apresentada por 'BRS Paiaguás' (42%) (Tabela 1). Já para área foliar (cm²/vaso), as perdas foram ainda maiores, 70% em média, chegando a 78% em Xaraés,

75% em 'Marandu', 74% em 'BRS Piatã' e 73% em 'BRS Paiaguás' (Tabela 1).

Para as variáveis taxa de alongamento e área foliar, houve diferença significativa entre os genótipos (Tabelas 1 e 2). A cultivar 'BRS Piatã' apresentou a maior taxa de alongamento e a menor área foliar e a cultivar 'Marandu' obteve a menor taxa de alongamento e a maior área foliar. A baixa disponibilidade de água no solo ocasiona desidratação, redução do crescimento, aceleração da senescência dos tecidos, comprometendo o crescimento por reduzir as taxas de expansão foliar e fotossíntese (LUDLOW & NG, 1976; BENNETT & SULLIVAN, 1981).

A massa seca total foi maior nas plantas sem estresse hídrico (Tabela 4). A maior redução na massa seca total em função do estresse hídrico foi observada na cultivar 'Xaraés' (49%), seguido de Marandu (41%) e BRS Paiaguás (40%). A cultivar 'BRS Piatã' apresentou a menor redução na massa seca total em função do déficit hídrico (28%).

A massa seca de parte aérea foi 49 a 45% menor nos tratamentos com estresse hídrico, resultante da redução de massa seca de haste e de folhas (Tabela 3). A maior redução na massa seca de raiz em função do déficit hídrico foi observada na cultivar 'Xaraés' (52%), seguido por 'Marandu' (34%) e 'BRS Paiaguás' (23%). Apesar do efeito da interação acesso x condição hídrica sobre a massa seca de raiz não ser significativo (P=0,1429), observa-se que a massa de raiz da cultivar 'BRS Piatã' foi semelhante nos dois tratamentos.

As variáveis analisadas, massa seca total e massa seca de raiz, não apresentaram diferenças significativas entre genótipos. Porém, para as características massa seca de parte aérea, de haste e de folha os genótipos diferiram entre si, apesar da porcentagem de redução ter ficado ao redor de 40 a 50%. MELO et al. (2003) observaram que a massa seca de parte aérea de *B. brizantha*

Tabela 1 - Área foliar e área foliar específica de plantas de quatro acessos de *Brachiaria brizantha* submetidas ou não ao estresse por déficit hídrico. Os números representam a média ± erro padrão da média.

Genótipo	Área foliar (cm ² vaso ⁻¹)			Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)		
	Estresse	Testemunha	Média	Estresse	Testemunha	Média
Piatã	260,6±24,7	1003,5±89,3	632,1 ^B	80,6±4,2	167,8±1,3	125,8 ^A
Paiaguás	398,4±13,6	1448,8±257,5	923,6 ^{AB}	95,9±4,7	165,0±30,5	130,4 ^A
Marandu	389,4±23,2	1558,2±188,9	973,8 ^A	101,9±5,8	208,2±2,1	155,0 ^A
Xaraés	332,6±8,9	1506,0±55,9	913,3 ^{AB}	87,4±1,4	202,6±10,2	145,0 ^A
Média	334,1 ^b	1319,1 ^a		89,2 ^b	183,0 ^a	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 2 - Taxa de alongamento foliar de plantas de quatro acessos de *Brachiaria brizantha* submetidas ou não ao estresse por déficit hídrico. Os números representam a média±erro padrão da média.

Genótipo	Taxa de alongamento foliar (cm perfilho ⁻¹ dia ⁻¹) -		
	Estresse	Testemunha	Média
Piatã	2,7±0,4	7,2±0,2	4,9 ^A
Paiaguás	1,2±0,4	6,4±0,4	3,8 ^{AB}
Marandu	0,3±0,1	4,9±0,6	2,6 ^B
Xaraés	0,5±0,1	6,9±0,3	3,7 ^{AB}
Média	1,5 ^b	6,4 ^a	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

em solo mantido a 60% da capacidade de campo foi cerca de 30% menor que daquelas cultivadas em solo mantido a 80% da capacidade de campo, em comparação com a espécie *B. decumbens*.

Em massa seca da parte aérea e massa seca de folhas, a maior média foi observada em 'BRS Paiaguás' e a menor em 'BRS Piatã' e para massa seca de haste o maior valor foi alcançado por 'BRS Piatã', seguido por 'BRS Paiaguás', 'Marandu' e 'Xaraés' (Tabela 3).

Nesse experimento, portanto, foi observada diferença significativa entre tratamentos de condições hídricas para todas as variáveis analisadas. Entre genótipos, cinco dessas características apresentaram diferença significativa, taxa de alongamento foliar, área foliar, massa seca de parte aérea, massa seca de haste e massa seca de folha. Mas, dentre essas cinco apenas taxa de alongamento foliar apresentou

diferença significativa para porcentagem de redução do genótipo, sendo portanto a condição de estresse com taxa bastante reduzida em relação a testemunha.

Massa seca total e massa seca de raiz, apesar de não apresentarem diferença significativa entre genótipos, quando se considera porcentagem de redução, observa-se amplitude acentuada nos valores. Em massa seca total a cultivar 'BRS Piatã' reduziu apenas 28% em condição de seca e o restante dos materiais estudados ficaram ao redor de 40% de redução, chegando a 49% na cultivar 'Xaraés'. Para massa seca de raiz a cultivar 'BRS Piatã' não apresentou redução, seguida por 'BRS Paiaguás' (23%), 'Marandu' (34%) e 'Xaraés' (52%).

Considerando apenas a porcentagem de redução para as variáveis taxa de alongamento foliar, massa seca total e massa seca de raiz, a cultivar 'BRS Piatã' foi o genótipo com menores danos sofridos pelo estresse causado pela deficiência hídrica. Nessa situação, os demais genótipos, 'BRS Paiaguás', 'Marandu' e 'Xaraés' não apresentaram diferenças significativas entre eles.

Na figura 1, observa-se que a cultivar 'BRS Piatã' é a mais distante geneticamente das demais, portanto essa diferença é muito pequena, indicando grande similaridade entre os genótipos de *Brachiaria brizantha* avaliados nesse experimento, tanto em condição de deficiência hídrica quanto nas testemunhas.

Esses resultados indicam que os genótipos de *Brachiaria brizantha* estudados nesse experimento apresentam comportamento semelhante quando colocados em situação de seca e entre eles a cultivar 'BRS Piatã' se destaca com menor porcentagem de redução. Nesse estudo, as cultivares se comportaram

Tabela 3 - Massa seca de parte aérea, raízes, haste e folhas de plantas de quatro acessos de *Brachiaria brizantha* submetidas ou não ao estresse por déficit hídrico. Os números representam a média±erro padrão da média.

Genótipo	Estresse	Testemunha	Média	Estresse	Testemunha	Média
	----- Massa seca parte aérea (g vaso ⁻¹) -----			----- Massa seca de raiz (g vaso ⁻¹) -----		
Piatã	5,8±0,4	10,6±0,7	8,2 ^B	5,9±2,0	5,5±1,0	5,7 ^A
Paiaguás	7,9±0,3	15,4±1,0	11,7 ^A	6,0±0,5	7,8±0,9	6,9 ^A
Marandu	7,1±0,3	13,3±1,5	10,2 ^{AB}	6,8±0,4	10,3±1,4	8,5 ^A
Xaraés	6,9±0,2	12,9±0,5	10,0 ^{AB}	5,4±0,6	11,1±1,6	8,2 ^A
Média	6,9 ^b	12,7 ^a		6,2 ^b	8,4 ^a	
Genótipo	----- Massa seca haste (g vaso ⁻¹) -----			----- Massa seca de folha (g vaso ⁻¹) -----		
	Estresse	Testemunha	Média	Estresse	Testemunha	Média
Piatã	2,6±0,2	4,7±0,2	5,6 ^C	3,2±0,2	6,0±0,5	4,6 ^B
Paiaguás	3,7±0,1	6,4±0,4	5,1 ^A	4,2±0,2	9,0±0,7	6,6 ^A
Marandu	3,3±0,1	5,8±0,6	4,6 ^{AB}	3,8±0,2	7,5±0,9	5,7 ^{AB}
Xaraés	3,1±0,2	5,4±0,2	4,3 ^{BC}	3,8±0,1	7,5±0,3	5,6 ^{AB}
Média	3,1 ^b	5,4 ^a		3,7 ^b	7,2 ^a	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Tabela 4 - Massa seca total de plantas de quatro acessos de *Brachiaria brizantha* submetidas ou não ao estresse por déficit hídrico. Os números representam a média±erro padrão da média.

Genótipo	Massa seca total (g vaso ⁻¹)		
	Estresse	Testemunha	Média
Piatã	11,6± 2,2	16,1±0,9	13,9 ^A
Paiaguás	13,9± 0,5	23,2±1,9	18,6 ^A
Marandu	13,9±0,7	23,6±2,6	18,7 ^A
Xaraés	12,3±0,7	24,0±2,0	18,1 ^A
Média	13,1 ^b	21,0 ^a	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

com relativa tolerância a seca, não apresentando acentuadas reduções nos índices avaliados, com exceção da taxa de alongamento foliar, que chegou a 94% na cultivar ‘Marandu’.

Essa tolerância observada pode ser proveniente da espécie em estudo, como os resultados

obtidos por MATTOS et al (2005), em estudo comparando diferentes espécies do gênero *Brachiaria*, observaram que a *B. brizantha* foi a espécie de maior tolerância ao déficit hídrico, em decorrência da menor sensibilidade de seus estômatos ao estresse, do menor comprometimento de suas taxas de fotossíntese e transpiração, das mais altas taxas de alongamento, das baixas taxas de senescência de suas lâminas foliares e de sua expressiva produção de raízes.

Avaliando três espécies comerciais (*B. decumbens* cv. ‘Basilisk’, *B. brizantha* cv. ‘Marandu’ e *B. mutica*) e três acessos (*B. brizantha* B-11, *B. humidicola* cv. ‘Tupi’ e *B. dictyoneura*) de *Brachiaria*, MATTOS et al. (2005) observaram que sob déficit hídrico, o índice de área foliar foi mais alto apenas nos genótipos de *B. brizantha* estudados, ‘Marandu’ e ‘B-11’. Também estudando diferentes espécies do gênero *Brachiaria*, GUENNI et al. (2002) observaram que a taxa de utilização de água foi mais elevada na *B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. mutica* (0,251 L/dia) que na *B. humidicola* (CIAT 679) e *B. dictyoneura* (CIAT 6133) (0,131L dia⁻¹), concluindo que as três primeiras espécies são mais indicadas para curtos períodos de seca e as demais para prolongados períodos de seca.

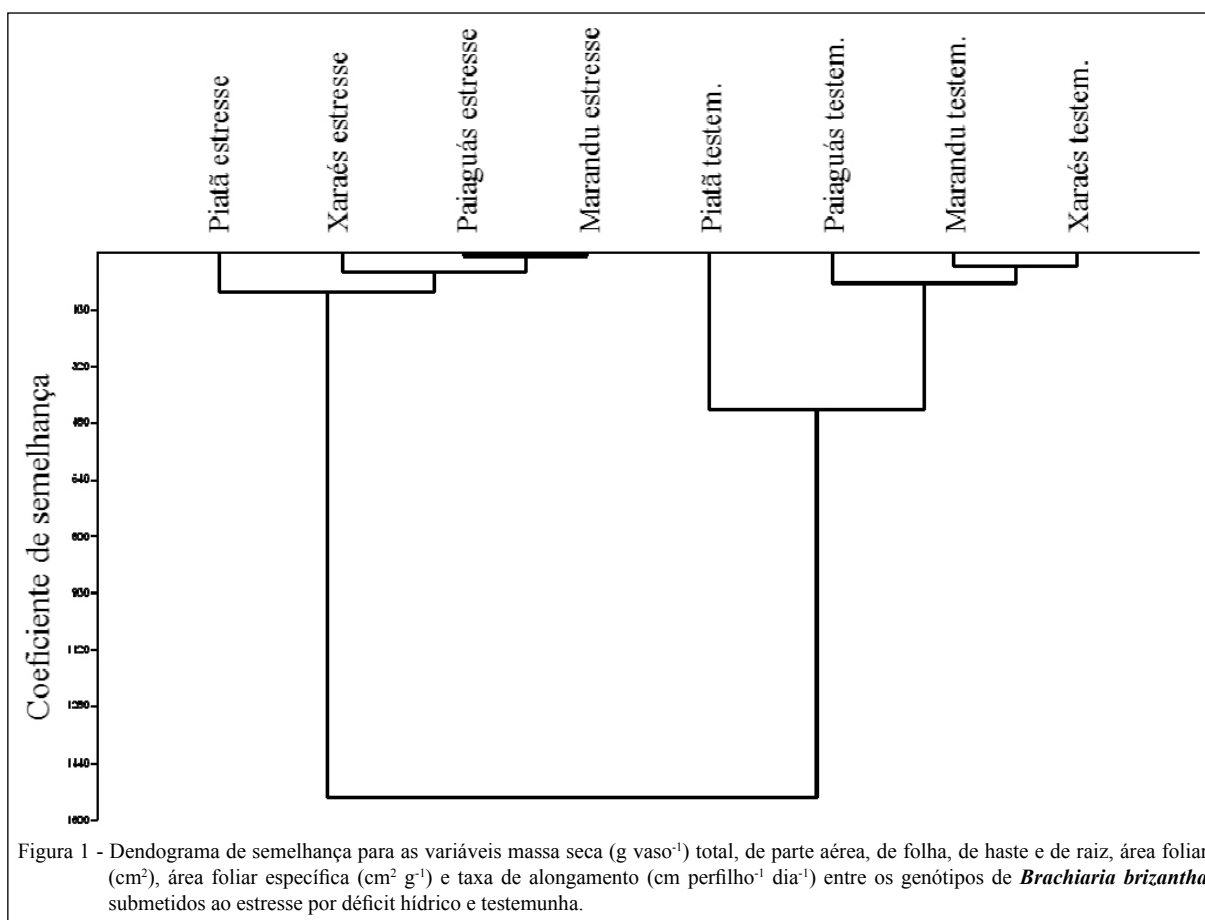


Figura 1 - Dendrograma de semelhança para as variáveis massa seca (g vaso⁻¹) total, de parte aérea, de folha, de haste e de raiz, área foliar (cm²), área foliar específica (cm² g⁻¹) e taxa de alongamento (cm perfilho⁻¹ dia⁻¹) entre os genótipos de *Brachiaria brizantha* submetidos ao estresse por déficit hídrico e testemunha.

CONCLUSÃO

As cultivares da espécie *B. brizantha* utilizadas nesse estudo se apresentaram com comportamento semelhante quando submetidas ao estresse ocasionado pela deficiência hídrica em ambiente de casa de vegetação. A cultivar ‘BRS Piaã’ foi o genótipo que se destacou com as menores reduções de desenvolvimento em comparação a testemunha.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pela bolsa de iniciação científica e pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, E.A. et al. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.100-107, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100013>>. Acesso em: 21 fev. 2013. doi 10.1590/S1806-66902011000100013.
- BENNETT, J.M.; SULLIVAN, C.Y. Effect of water stress preconditioning on net photosynthetic rate of grain *Sorghum*. *Photosynthetica*, v.15, n.3, p.330-337, 1981.
- BRAY, E.A. et al. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B.B. *Biochemistry & molecular biology of plants*. Rockville: American Society of plant physiologists, 2000. 1367p.
- COSTA, K.A. de P.C. et al. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. ‘Marandu’. *Ciência Animal Brasileira*, v.6, p.187-193, 2005.
- DUQUE, A.S. et al. Abiotic stress responses in plants: unraveling the complexity of genes and networks to survive. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. *Abiotic stress - plant responses and applications in agriculture*. Croatia, Rijeka: Tech, 2013. p.49-102.
- GUENNI, O. et al. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and Soil*, v.243, p.229-241, 2002.
- HAMMER, Ø. et al. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, v.4, n.1, 9p, 2001.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA), 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de agosto de 2012.
- KELLER-GREIN, G. et al. Natural variation in *Brachiaria* and existing germplasm collections. In: MILES, J.W. *Brachiaria: biology, agronomy, and improvement*. Cali: CIAT / Brasília: Embrapa-CNPQC, 1996. p.106-123.
- LITTELL, R.C. et al. *Sas for mixed models*. 2.ed. Cary: SAS Institute, 2006. 813p.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.
- LUDLOW, M.M.; NG, T.T. Effect of water deficit on carbon dioxide exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.3, n.3, p.401-413, 1976.
- MATTOS, J.L.S. de et al. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria* sob déficit hídrico em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.3 p.746-754, 2005.
- MELO, S.P. de et al. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. *Scientia Agricola*, v.60, n.4, p.755-759, 2003.
- PEDREIRA, C.G.S. et al. Forrageiras *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*. In: MONTEIRO, J.E.B.A. *Agrometeorologia dos cultivos, o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: INMET, 2009. p.427-447.
- SILVA, M. de A. et al. Melhoramento para eficiência no uso da água. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. *Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos*. Viçosa: UFV, 2011. p.127-149.
- VARSHNEY, R.K. et al. Genomics and physiological approaches for root trait breeding to improve drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Root Genomics*, v.10, p.213-222, 2011.
- VALLE, C.B. et al. Gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. *Plantas Forrageiras*. Viçosa: UFV, 2011. p.30-77.
- XOCONOSTLE-CAZARES, B. et al. Drought tolerance in crop plants. *American Journal of Plant Physiology*, v.5, n.5, p.241-256, 2010.
- ZHENG, H.G. et al. Quantitative trait loci for root penetration ability and root thickness in rice: comparison of genetic backgrounds. *Genome*, v.43, p.53-61, 2000.