

Resposta de cultivares e híbridos de *Megathyrus maximus* ao estresse da seca em solos arenosos



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Gado de Corte
Ministério da Agricultura e Pecuária**

DOCUMENTOS 313

Resposta de cultivares e híbridos de *Megathyrus maximus* ao estresse da seca em solos arenosos

*Rosangela Maria Simeão
Liana Jank
Mateus Figueiredo Santos
Flávia Cristina dos Santos
Márcia Cristina Teixeira da Silveira
Sanzio Carvalho Lima Barrios*

Embrapa Gado de Corte
Campo Grande, MS
2023

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Corte
Av. Rádio Maia, 830, Zona Rural, Campo Grande, MS,
79106-550, Campo Grande, MS
Fone: (67) 3368 2000
Fax: (67) 3368 2150
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Gado de Corte

Presidente
Rodrigo Amorim Barbosa

Secretário-Executivo
Rodrigo Carvalho Alva

Membros
Alexandre Romeiro de Araújo, Davi José
Bungenstab, Fabiane Siqueira, Gilberto
Romeiro de Oliveira Menezes, Luiz Orcício
Fialho de Oliveira, Marcelo Castro Pereira,
Mariane de Mendonça Vilela, Marta Pereira
da Silva, Mateus Figueiredo Santos, Vanessa
Felipe de Souza

Supervisão editorial
Rodrigo Carvalho Alva

Revisão de texto
Rodrigo Carvalho Alva

Tratamento das ilustrações
Rodrigo Carvalho Alva

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Rodrigo Carvalho Alva

Foto da capa
Rosângela Maria Simeão

1ª edição
Publicação digitalizada (2023)

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa. Superintendência de Serviços Compartilhados

Resposta de cultivares e híbridos de *Megathyrus maximus* ao estresse da
seca em solos arenosos / Rosângela Maria Simeão... [et al.] - Campo
Grande: Embrapa Gado de Corte, 2023.

PDF (29 p.). il. color. – (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN
1983-974X ; 313).

1. Deficiência hídrica. 2. Gramínea forrageira. 3. Pastagem. 4. Resistência
a temperatura. I. Simeão, Rosângela Maria. II. Jank, Liana. III. Santos, Mateus
Figueiredo. IV. Santos, Flávia Cristina dos. V. Silveira, Márcia Cristina Teixeira
da. VI. Barrios, Sanzio Carvalho Lima. VII. Embrapa Gado de Corte. VIII. Série.

Autores

Rosangela Maria Simeão

Bióloga, doutora em Genética, pesquisadora da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Liana Jank

Engenheira-Agrônoma, doutora em Melhoramento de Forrageiras, pesquisadora da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Mateus Figueiredo Santos

Engenheiro-Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Flávia Cristina dos Santos

Engenheira-Agrônoma, doutora em Solos e Nutrição, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Márcia Cristina Teixeira da Silveira

Zootecnista, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS

Sanzio Carvalho Lima Barrios

Engenheiro-Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Sumário

Introdução.....	7
Material e métodos.....	11
Resultados.....	15
Metodologia para Avaliação da Tolerância a Seca em Gramíneas Tropicais Perenes.....	25
Agradecimentos.....	27
Referências.....	27

Introdução

O Brasil é um país com vocação agropecuária, atividade que responde por 24,8% do PIB nacional (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2023), sendo que a pecuária, isoladamente, contribui com 6,8%. Estima-se que a área de pastagens no Brasil seja de aproximadamente 149 milhões de hectares e responde por 21% da área total antropizada (Landau *et al.*, 2020). A importância da pecuária para o país pode ser dimensionada pelos 2,5 milhões de estabelecimentos rurais que dela dependem como um dos meios de sustentação econômica (ABIEC, 2023). Um aspecto bastante relevante é o fato de que a produção forrageira nas áreas de pastagens desempenha um papel crucial no sequestro de carbono, proteção e enriquecimento do solo e preservação da biodiversidade (Gaujour *et al.*, 2012), mesmo considerando que 22% das pastagens no Brasil apresentam um grau severo de degradação (Universidade Federal de Goiás, 2021) e precisam ser recuperadas ou até mesmo renovadas.

O *Megathyrus maximus* (sin. *Panicum maximum*) é a gramínea forrageira, propagada por sementes, de mais alta produtividade e qualidade utilizada nos sistemas produtivos de carne e leite no Brasil e ocupa uma área de aproximadamente 20 milhões de hectares. Esta gramínea é cultivada em áreas com uma elevada variação de latitudes, altitudes e temperaturas médias (Pezzopane *et al.* 2017). Em termos de sistemas de produção, o *M. maximus* é utilizado em áreas com diversos níveis de intensificação tanto em sistemas convencionais quanto em integrados, como integração lavoura pecuária (ILP) e integração lavoura pecuária floresta (ILPF). Na pecuária, serve de alimento para engorda e produção de leite de bovinos e de ovinos (Jank *et al.*, 2014). Dada a sua importância para todos os sistemas de produção, as cultivares e novos híbridos de *M. maximus* foram as escolhidas para a experimentação e para os resultados a serem apresentados.

As mudanças climáticas globais impõem um desafio premente para a estabilidade e para a sustentabilidade das pastagens cultivadas e nativas. Dependendo do cenário escolhido, a temperatura média global anual pode aumentar de 2,5 a 4,3°C (Climate change, 2023), sendo que, na América do Sul, os maiores riscos são os associados à segurança hídrica a partir de 2030 e para a segurança alimentar, devido às secas frequentes e extremas,

as quais reduzirão a produtividade agrícola. A maior frequência de ondas de calor e seca deverão promover um preponderante nível de estresse sobre as pastagens (Norton *et al.*, 2016) e exigirão alguma forma de intervenção, a fim de manter a atividade pecuária nas atuais áreas produtivas.

Algumas características fisiológicas e bioquímicas específicas ocorrem como resposta da planta ao ser submetida ao ambiente seco. As estratégias de resposta das plantas podem ser de escape à seca, de evitar a desidratação e de tolerar a desidratação (Turner, 1986, 1997). No caso de gramíneas perenes, algumas espécies são capazes de resistir à seca moderada e de manter o crescimento aéreo, isso porque evitam e/ou toleram a desidratação das folhas. Em caso de secas severas, o que ocorre em algumas espécies é um processo em que a desidratação é evitada ou tolerada primariamente em tecidos meristemáticos, à medida que apenas esses podem sobreviver à severidade da seca.

O escape à seca é uma característica comumente evidenciada em plantas anuais, as quais investem na reprodução e produção de sementes, estrategicamente, quando submetidas às condições de redução de água. O equivalente a essa estratégia em plantas perenes seria a indução do florescimento precoce e a formação de sementes para garantir a sobrevivência em secas subsequentes, mesmo que a planta original não desapareça (Norton *et al.* 2016).

No caso de espécies que evitam a desidratação, as características que determinam essa estratégia podem ser alta sensibilidade da condutância estomática ao déficit hídrico, ajuste osmótico, conservação da água por meio de modificações na estrutura das folhas, tais como enrolamento, e senescência das folhas, comumente observado em gramíneas tropicais. Uma espécie é considerada tolerante à desidratação quando ela permite que o potencial da água caia em resposta ao aumento do déficit de umidade (Keep *et al.*, 2021). Essas plantas mantêm o seu crescimento por mais tempo durante o período seco do que uma planta que evita a desidratação, mas manifestam algumas características semelhantes, como o enrolamento das folhas (Volaire, 2018). A distinção entre os dois tipos precisa ser melhor estudada em gramíneas tropicais.

A dormência de meristemas é evidenciada em gramíneas temperadas perenes originárias do Mediterrâneo, coletadas em regiões de clima árido e semiárido, as quais enfrentam um período de verão seco de quatro meses ou mais, após um período chuvoso superior a 800 mm. Essas gramíneas, tais como *Dactylis glomerata* L., *Phalaris aquatica* L. e *Festuca arundinacea*, têm sido usadas nos programas de melhoramento de forrageiras para o sul da Itália (Annicchiarico *et al.*, 2011), Austrália (Hayes *et al.*, 2010) e sul dos Estados Unidos (Malinoswski *et al.*, 2009). Na avaliação, os acessos coletados na região mediterrânea demonstraram capacidade de cobertura de solo, após a seca, superior a 51% relativo aos 21% de outros acessos menos dormentes, de origem europeia.

As principais gramíneas forrageiras cultivadas no Brasil são originárias da África (Jank *et al.*, 2014), muitas coletadas em regiões de savanas áridas, como é o caso do *M. maximus*, nas quais formam extensas pastagens e são livremente pastejadas por mamíferos, de acordo com a sua oferta de forragem e de água (Staver *et al.*, 2019). A biomassa dessas gramíneas forrageiras é altamente responsiva à variabilidade da distribuição das chuvas locais, declinando a sua produção durante a seca nas savanas. Em termos de variabilidade temporal expressa, a produção de biomassa pelas gramíneas é altamente responsiva à variabilidade climática, especialmente ao excesso hídrico; entretanto, é desproporcionalmente menor em resposta ao déficit hídrico (Njarui *et al.*, 2015; Staver *et al.*, 2019). Dessa forma, pode-se inferir que acessos de gramíneas perenes tropicais de origem africana adotam a estratégia de evitar a desidratação e/ou tolerar a seca. O seu hábito de sazonalidade/estacionalidade de produção forrageira no Brasil é conhecido e essas gramíneas retomam praticamente 100% da cobertura do solo após um período de seca (de maior ou menor intensidade) e de baixas temperaturas noturnas (outono e inverno) superior a quatro meses anuais (Figura 1), se bem manejadas. Tal evidência é verificada mesmo em regiões com pluviosidade média anual de 800 mm, concentrados durante o verão, como no cerrado de solos altamente arenosos, do oeste da Bahia (Simeão *et al.*, 2021).



Figura 1. Vista do experimento de avaliação de cultivares e híbridos de *Megathyrsus maximus*, oeste da Bahia, nas seguintes épocas: **A.** Fevereiro de 2021 (estabelecimento); **B.** Setembro de 2021 (após a primeira seca); **C.** Novembro de 2021 (antes do corte 4) e **D.** Março de 2022 (veranico com déficit hídrico).

A maioria das pesquisas sobre os efeitos do déficit hídrico vem sendo realizada em culturas anuais, com poucas informações sobre métodos de seleção eficientes em culturas perenes, inclusive forrageiras. Comumente, as avaliações experimentais são realizadas de forma que as mesmas cultivares/ acessos são avaliados na condição de excesso e de déficit hídrico, geralmente por um curto período de tempo, dois a quatro meses, simultaneamente. Essas avaliações sob condições “controladas” desconsideram o processo de indução da tolerância nas gramíneas, indução essa que certamente vai além da pura questão hídrica. Ademais, a sazonalidade anual verificada ao longo

das estações em ambiente natural condiciona o crescimento da forrageira. Dessa forma, estão envolvidos múltiplos fatores que irão determinar a capacidade de retomar o crescimento e recuperação no período chuvoso seguinte, após o período de déficit hídrico. A recuperação após as secas regulares é da maior importância em forrageiras perenes, especialmente se ela ocorre a partir da planta pré-existente, sem demandar o estabelecimento de novas plantas (Kemp, Culvenor, 1994). Entre as forrageiras perenes, a melhor estudada, nesse aspecto experimental de resposta ao estresse hídrico, é a alfafa (Djaman *et al.*, 2020), com diversas classes de dormência identificadas em cultivares e populações. Tal avanço de conhecimento e experimental para seleção ainda precisa ser melhor estudado nas gramíneas forrageiras perenes tropicais.

Baseados nesses antecedentes, foi proposta uma metodologia para avaliar e selecionar as cultivares e híbridos da gramínea forrageiras *Megathyrus maximus* experimentalmente, em vários cortes, durante o excesso e déficit hídrico, em ambiente de cerrado com solos arenosos, que apresenta de média a baixa pluviosidade anual.

Material e métodos

Vinte e dois híbridos e seis cultivares ('Aruana', 'Gatton', 'BRS Zuri', 'BRS Quênia', 'BRS Tamani' e 'Massai') de *Megathyrus maximus* foram avaliados experimentalmente de dezembro de 2020 a dezembro de 2022. As parcelas foram semeadas em seis linhas de quatro metros, espaçadas em 0,5 m, com uma distância de 1,5 m entre parcelas, num experimento em blocos ao acaso com três repetições. A quantidade de sementes por linha foi calculada com base na recomendação da taxa de semeadura com sementes puras viáveis por área para a espécie.

O experimento foi conduzido na Fazenda Trijunção, localizada na região de Cocos e Jaborandi, Bahia. O solo da região é classificado como latossolo vermelho-amarelo distrófico, com textura arenosa (Santos *et al.*, 2019). As seguintes características foram obtidas na análise realizada em janeiro de 2020, na camada de 0-20 cm de profundidade: pH (água) = 7,18; Al = 0,01; Ca = 1,52; Mg = 0,68; H + Al = 0,60; T = 2,24 (cmolc dm⁻³); P-Mehlich 1 = 6,60 mg dm⁻³; K = 16,00 (mg dm⁻³); V = 78,90 (%); conteúdo de argila = 12,6 (%);

matéria orgânica = 0,80 (dag kg⁻¹); e, na camada de 20-40 cm: pH (água) = 5,87; Al = 0,01; Ca = 0,56; Mg = 0,29; H+ Al = 1,40; T = 0,88 (cmolc dm⁻³); P-Mehlich 1 = 1,10 (mg dm⁻³); K = 12,0 (mg dm⁻³); V = 38,60 (%); argila = 12,6 (%); matéria orgânica = 0,67 (dag kg⁻¹).

Na preparação da área foram aplicadas 2,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 76%), e no mês anterior à semeadura, a área recebeu 290 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP) e 100 kg ha⁻¹ de KCl e micronutrientes, de acordo com os resultados da análise do solo e recomendação de Sousa e Lobato (2004). A adubação nitrogenada consistiu na aplicação de 70 kg ha⁻¹ de N após cada corte, na forma de ureia.

O clima da região é classificado como Aw, com verão chuvoso e outono-inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen. Uma série histórica compreendendo o período de 1998 a 2017, sobre a capacidade de água no solo local, foi apresentada por Albuquerque *et al.* (2020). O balanço climatológico da água, numa escala serial de 10 dias, bem como a pluviosidade e a temperatura média, especificamente para o período experimental, são apresentados na Figura 2. Os dados de pluviosidade e temperatura média foram obtidos do POWER Project versão Beta 2.0.8 para o período e local de experimentação. Com base na Figura 2, o período de estresse hídrico no primeiro ano iniciou no terceiro decêndio de fevereiro e se estendeu até o final do mês de outubro, quando as chuvas retornaram. No segundo ano, o estresse hídrico teve praticamente a mesma duração, mas não a mesma intensidade, com um curto período de excesso hídrico observado em abril de 2022. A concentração do excesso hídrico nos dois anos de experimentação ocorreu nos meses de novembro a fevereiro, sendo que, na transição de 2021 para 2022 foi possível realizar quatro cortes. O corte de seca foi realizado apenas ao final da sua ocorrência e não durante esse estresse. Nos dois anos, as plantas demonstraram ter reserva suficiente para produzir novos perfilhos e sobreviverem após o período de déficit hídrico.

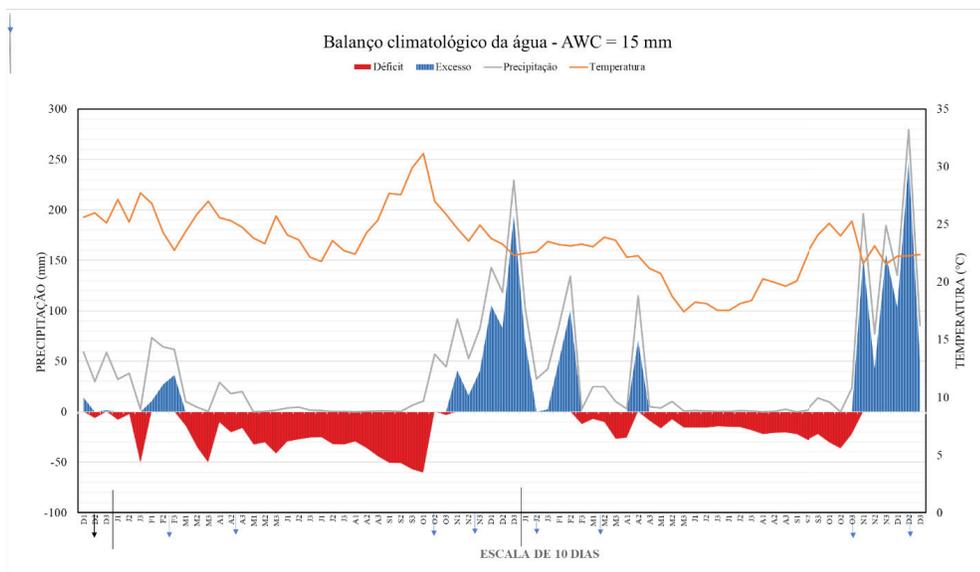


Figura 2. Balanço climático da água para uma capacidade de água disponível (AWC) de 15 mm, precipitação (mm) e temperatura média (°C) a cada 10 dias quantificadas durante o período de avaliação das forrageiras e as datas de corte (setas azuis), de dezembro de 2020 (semeadura) a dezembro de 2022, no estado da Bahia, Brasil.

As forrageiras foram cortadas na área interna da parcela de 9 m² a uma altura de 15 cm do solo. As amostras verdes foram pesadas no campo e uma subamostra de cada parcela foi levada para secagem em estufa a 55°C até peso constante para determinação da porcentagem de matéria seca (%MS). Dessa forma foram calculadas a produção de matéria verde (PMV) e seca (PMS), em toneladas por hectare, por corte, de cada um dos genótipos avaliados.

As análises univariadas, por corte, bem como as análises de todos os cortes, simultaneamente, foram realizadas pelo Selegen REML/BLUP (Resende, 2016). Os efeitos genotípicos das cultivares e híbridos foram considerados aleatórios nos modelos. Para as análises de componentes principais foi utilizado o software PAST v. 3.25 (Hammer *et al.*, 2001) e para a visualização gráfica dos valores genotípicos dos híbridos e cultivares foi utilizado o ASREML-R (Gilmour *et al.*, 1999).

Nesse estudo, nove índices de tolerância ao estresse hídrico foram usados para avaliar a resposta de produção de forragem, conforme descritos em Zuffo

et al. (2022). Entretanto, diferentemente dos autores que propuseram os índices, os dados analisados não são os resultantes de experimentação em casa de vegetação ou campo, em que os tratamentos/genótipos são submetidos concomitantemente ao excesso e ao déficit hídrico. Os dados de produção utilizados foram aqueles obtidos nos períodos de déficit e de excesso hídrico no campo, no mesmo experimento de longo prazo. Considerou-se que, além da questão hídrica, os genótipos foram submetidos naturalmente aos outros efeitos ambientais, tais como variações de umidade, temperatura, insolação, evapotranspiração, desde a sua semeadura até os 753 dias após o primeiro corte. Esse modo de avaliação para fins de seleção é coerente com a natureza perene da espécie, bem como sua recomendação de uso posterior. Esses nove índices de tolerância ao estresse hídrico são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices de tolerância ao estresse hídrico utilizados na avaliação de 28 cultivares e híbridos de *Megathyrus maximus* num período de dois anos, em solos arenosos na Bahia, Brasil.

Índice	Equação*	Referência
1. Índice de tolerância à seca	$DI = \left[Y_S \times \left(\frac{Y_S}{Y_P} \right) \right] / \bar{Y}_S$	Blum, 1988
2. Índice de tolerância ao estresse	$STI = (Y_S \times Y_P) / (\bar{Y}_P)^2$	Fernandez, 1992
3. Produtividade média geométrica	$GMP = \sqrt{(Y_S \times Y_P)}$	Fernandez, 1992
4. Índice de rendimento	$YI = Y_S / \bar{Y}_S$	Gavuzzi <i>et al.</i> , 1997
5. Tolerância ao estresse modificado (2)	$k_2 STI = Y_S^2 / \bar{Y}_S^2$	Farshadfar; Sutka, 2003
6. Média harmônica	$HM = [2 \times (Y_S \times Y_P)] / (Y_S + Y_P)$	Jafari <i>et al.</i> , 2009
7. Porcentagem de produção na seca (total de 2 anos)	$\%PS = \frac{\sum Y_S}{\sum Y_S + \sum Y_P}$	
8. Porcentagem de produção na seca (ano 1)	$\%PS_1 = \frac{Y_{S1}}{Y_{S1} + \sum Y_{P1}}$	
9. Porcentagem de produção na seca (ano 2)	$\%PS_2 = \frac{Y_{S2}}{Y_{S2} + \sum Y_{P2}}$	

*Nas equações, Y_p e Y_s representam a produção de forragem (verde ou seca) nos períodos de excesso hídrico anual e sob déficit hídrico severo, mais precisamente nos cortes 3 e 7, para cada um dos genótipos avaliados, respectivamente; enquanto \bar{Y} representam a média da produção (verde ou seca) de todos os genótipos sob o excesso e déficit hídrico anual, respectivamente.

\bar{Y}_p e \bar{Y}_s representam a média da produção (verde ou seca) de todos os genótipos sob o excesso e déficit hídrico anual, respectivamente.

Os 28 híbridos e cultivares avaliados foram ranqueados em cada um dos nove índices de tolerância ao estresse hídrico e classificados de 1 a 28. A discriminação dos híbridos e cultivares quanto ao seu grau de tolerância (TOL) ao estresse hídrico foi realizada com base no escore médio de classificação de cada um dos genótipos pelos índices. Nessa classificação, foram considerados os valores dos quartis que dividem as 28 posições possíveis no ranqueamento em quatro partes iguais, conforme idealizado por Zuffo *et al.* (2022). Para a característica produção de matéria verde, um genótipo com classificação média (R) superior no primeiro quartil ($\leq 9,0$ pontos) é considerado tolerante (T) à seca; um genótipo com valor R entre o primeiro e o segundo quartil (9,1 a 14 pontos) é considerado moderadamente tolerante (MT); um genótipo com valor R entre o segundo e o terceiro quartil (14,1 a 19 pontos) é considerado moderadamente sensível (MS); e, finalmente, um genótipo com o valor R entre o terceiro e o quarto quartil (> 19 pontos) é considerado sensível (S) à seca. Para a característica produção de matéria seca, os valores de R correspondem a T: ≤ 10 ; MT: 10,1 a 14; MS: 14,1 a 18 e S: > 18 .

Resultados

As cultivares e híbridos de *M. maximus* foram ordenadas pela soma da produção total de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) nos dois anos de avaliação (Figura 3), sendo que as médias de produção de cada uma delas, em cada corte, foi identificada por cores diferentes. No gráfico evidencia-se que o intenso estresse de déficit hídrico ocorrido anteriormente ao corte 3 penalizou todas as cultivares e híbridos, mas não o suficiente para comprometer a sobrevivência das plantas, as quais retomaram o crescimento e produção nos cortes 4, 5 e 6, quando ocorreu o excesso hídrico.

A distribuição dos valores genotípicos para a produção de matéria seca total (PMST, $t\ ha^{-1}$) de todos os híbridos e cultivares é apresentada na Figura 4A. Para fins de comparação e visualização, na Figura 4B é apresentada graficamente a herdabilidade para essa característica, em cada um dos cortes, bem como a porcentagem de matéria seca (%MS). Houve uma tendência de maior expressão de variabilidade genética (maior magnitude de herdabilidade) para PMST nos cortes realizados durante o período de excesso hídrico nos cortes 2, 4 e 8, e magnitudes de herdabilidade reduzidas para os cortes 3 e 7, de seca. A baixa herdabilidade e elevada interação genótipo x ambiente para a tolerância à seca quando se refere ao caráter produção em plantas é um fator conhecido e que dificulta a obtenção de ganhos com seleção (BLUM, 2011). As maiores porcenta-

gens de matéria seca (> 50%) foram evidenciadas nas duas avaliações de seca, em que o processo de desidratação e senescência das folhas e colmos é uma das estratégias adotadas pelas gramíneas tropicais para evitar a seca.

Importante considerar que, apesar dessa população de genótipos não ter expressado variabilidade genética para a característica PMST no corte 3 (Figura 4B), houve uma significativa expressão de variabilidade genética no corte 4, no qual as plantas estavam se recuperando do período seco e retomando o crescimento e expressando maior produção. Essa habilidade de recuperação após um período de seca é considerada um dos mecanismos de tolerância à seca, como descrito por Kemp e Culvenor (1994). Provavelmente, esse é o momento mais indicado para a seleção dos melhores genótipos para a tolerância à seca em *M. maximus*. No ranqueamento das cultivares e híbridos nos cortes 4 e 8, realizados após os cortes de seca, destacaram-se nos primeiros lugares a ‘BRS Quênia’, e os genótipos H156, H182 e H151, com uma correlação de Pearson no ranqueamento dos genótipos entre esses cortes de 78% ($p = 8,8 \times 10^{-7}$). Interessante que a ‘BRS Quênia’ foi a cultivar com maior produção de matéria verde e seca, em resposta à irrigação durante o período de déficit hídrico, em Sete Lagoas, MG (Simeão, *et al.*, 2020).

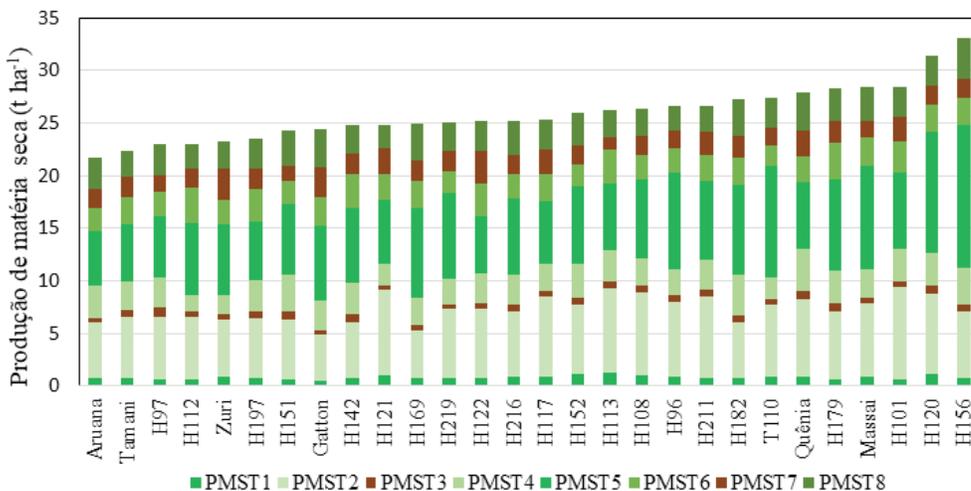


Figura 3. Produção de matéria seca, em $t\ ha^{-1}$, para cada um dos híbridos e cultivares de *Megathyrsus maximus* avaliados em oito cortes, durante os períodos de excesso (PMST1, PMST2, PMST4, PMST5, PMST6 e PMST8) e de déficit hídrico (PMST3 e PMST7), em solos arenosos, no oeste da Bahia.

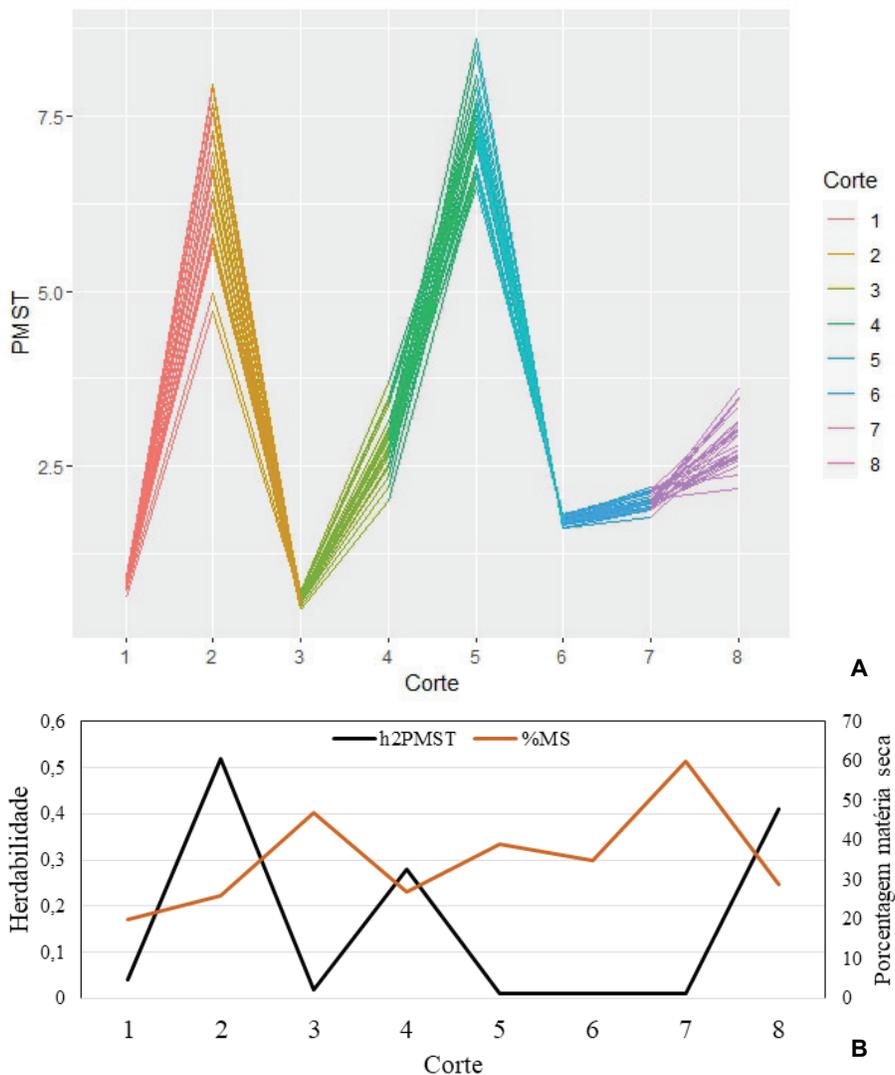


Figura 4. Valores genotípicos para produção de matéria seca, em $t\ ha^{-1}$, dos híbridos e cultivares de *Megathyrus maximus*, e para cada um dos oito cortes, durante os períodos de excesso (cortes 1, 2, 4, 5, 6 e 8) e de déficit hídrico (cortes 3 e 7) (a); Herdabilidade (h^2PMST) para produção de matéria seca, em $t\ ha^{-1}$, e a porcentagem de matéria seca (%MS), por corte (b).

Índices de tolerância à seca baseados na perda de produção sob as condições de estresse comparados com as condições normais de desenvolvimento e são usados para selecionar/diferenciar genótipos tolerantes à seca. Entretanto, não há ainda nenhum método de avaliação eficiente que seja capaz de selecionar genótipos sob estresse de seca que seja rápido e reproduzível em todas as condições e para todas as espécies (Majidi *et al.*, 2016), a não ser avaliar os genótipos nas duas condições, com e sem estresse hídrico.

Em gramíneas forrageiras tropicais perenes é possível avaliar, num mesmo local, a resposta em produção de forragem conforme a sazonalidade climática temporal anual. Sob o ponto de vista de um programa de melhoramento, os indivíduos mais tolerantes, selecionados nessas condições, podem ser utilizados em cruzamentos controlados, visando aumentar a frequência de alelos favoráveis para tolerância, para atender as mudanças climáticas em curso. Ademais, num curto espaço temporal, é possível indicar os melhores genótipos para cultivo em um local, de acordo com a sua capacidade de produção total anual.

Por conseguinte, devem ser interpretadas as informações disponíveis nas Tabelas 2 e 3 sobre os índices de tolerância à seca utilizados, a produção no período de excesso e déficit hídrico e a classificação dos genótipos para PMV e PMST. Considerando os dois anos de avaliação, o genótipo com maior proporção de PMV no déficit hídrico em relação ao excesso (Tabela 2) foi o H151 (8,1%), e também para o ano de 2021 com seca mais intensa, com déficit de hídrico de -646,5 mm entre março e outubro, mas não o foi em 2022, com déficit hídrico de -355,8 mm entre os mesmos meses. Contrariamente, o genótipo de menor proporção de PMV foi o H121, e foi também o de menor proporção no ano de 2021, com a seca mais intensa, mas não o foi em 2022. O fator genótipo na identificação daquele com maior ou menor proporção de PMST durante o déficit hídrico (Tabela 3), no ano de 2021 foram os mesmos observados para PMV, mas não foram os mesmos para PMST nos dois anos. Assim, a característica a ser avaliada na seleção e a interação temporal com a intensidade da seca podem alterar o ranqueamento dos indivíduos mais e menos tolerantes.

Dessa forma, ao adotar a classificação para a tolerância ao déficit hídrico e, dependendo da característica avaliada, alguns genótipos tiveram seu

status alterados, de sensíveis a tolerantes e vice-versa, como foi o caso do H101, H151 e do 'Massai'. Desses, o H101 apresentou baixa proporção de produção de matéria verde e seca no ano de 2021, de déficit hídrico intenso, mas tolerou um déficit hídrico moderado em 2022. A 'BRS Quênia' e o genótipo H179 mostraram-se tolerantes para ambas as características (Tabelas 2 e 3). Esses genótipos, juntamente com o H156 são indicados como genitores em cruzamentos para o aumento da frequência de alelos favoráveis para a característica tolerância à seca. Todos eles e o genótipo H120 são indicados como potenciais cultivares forrageiras para a região. Contrariamente ao obtido por Zuffo *et al.* (2022), em experimentação com tolerância à seca em plântulas de gramíneas forrageiras, a cultivar 'Aruana' no presente trabalho foi classificada na última posição, como a menos produtiva e sensível ao déficit hídrico.

Tabela 2. Produção de matéria verde, índices de tolerância ao estresse hídrico e classificação quanto a tolerância de 28 híbridos e cultivares de *Megathyrus maximus* avaliados no campo em solos arenosos.

Cultivar/ Híbrido	Índices de tolerância													Classe
	Produção de matéria verde													
	Y _P	Y _S	DI	STI	GMP	YI	k ₂ STI	HM	%PS	%PS1	%PS2	TOL		
Aruana	63,65	3,63	0,12	0,14	4,39	0,73	0,53	3,10	5,39	2,68	8,49	25,14	S	
Gatton	75,37	4,63	0,17	0,21	5,39	0,93	0,87	3,91	5,79	1,89	8,57	18,00	MS	
H101	80,61	4,22	0,13	0,20	5,33	0,85	0,73	3,65	4,98	1,96	8,43	20,64	S	
H108	81,22	4,56	0,15	0,22	5,55	0,92	0,84	3,90	5,31	2,56	8,76	16,64	MS	
H112	71,91	5,04	0,21	0,22	5,50	1,02	1,03	4,16	6,55	3,01	9,44	15,21	MS	
H113	82,48	4,81	0,17	0,24	5,75	0,97	0,94	4,10	5,51	3,20	8,13	13,86	MT	
H117	79,00	4,96	0,19	0,23	5,72	1,00	1,00	4,18	5,91	2,15	10,24	13,79	MT	
H120	88,43	5,15	0,18	0,27	6,16	1,04	1,08	4,38	5,50	3,51	7,98	9,79	MT	
H121	82,21	3,89	0,11	0,19	5,16	0,78	0,62	3,41	4,52	1,14	8,90	20,64	S	
H122	73,89	6,04	0,30	0,27	6,10	1,22	1,48	4,85	7,55	3,28	12,22	8,29	T	
H142	72,18	5,11	0,22	0,22	5,54	1,03	1,06	4,21	6,61	4,71	8,43	14,29	MS	
H151	73,52	6,48	0,35	0,28	6,30	1,31	1,71	5,12	8,10	6,39	9,71	6,21	T	
H152	79,68	5,55	0,23	0,26	6,07	1,12	1,25	4,59	6,52	5,04	8,10	9,29	MT	
H156	85,93	5,81	0,24	0,30	6,45	1,17	1,37	4,83	6,34	4,40	7,92	6,29	T	
H169	69,13	5,26	0,24	0,22	5,50	1,06	1,12	4,28	7,07	3,98	9,35	13,07	MT	
H179	80,00	6,22	0,29	0,30	6,44	1,25	1,57	5,05	7,22	5,52	8,71	5,21	T	

Cultivar/ Híbrido	Índices de tolerância														Classe
	Produção de matéria verde														
	Y _p	Y _s	DI	STI	GMP	YI	k ₂ STI	HM	%PS	%PS1	%PS2	TOL			
H182	83,92	4,85	0,17	0,24	5,83	0,98	0,96	4,14	5,47	3,71	6,97	13,50	MT		
H197	74,94	4,59	0,17	0,21	5,35	0,93	0,86	3,88	5,77	3,15	8,41	19,07	S		
H211	84,09	5,26	0,20	0,26	6,07	1,06	1,12	4,43	5,89	2,63	9,66	9,29	MT		
H216	77,74	4,45	0,15	0,21	5,37	0,90	0,80	3,80	5,41	2,71	8,12	19,57	S		
H219	64,93	3,37	0,11	0,13	4,27	0,68	0,46	2,91	4,93	2,00	8,00	26,86	S		
H96	78,96	4,37	0,15	0,21	5,36	0,88	0,78	3,75	5,24	2,47	8,06	20,14	S		
H97	64,10	4,70	0,21	0,18	5,01	0,95	0,90	3,85	6,84	5,65	8,15	19,29	S		
Massai	84,15	5,44	0,21	0,27	6,18	1,10	1,20	4,56	6,08	3,29	8,74	7,79	T		
Quênia	80,59	5,63	0,24	0,27	6,15	1,14	1,29	4,66	6,53	3,56	9,92	7,36	T		
T110	77,26	4,52	0,16	0,21	5,39	0,91	0,83	3,84	5,52	3,05	7,75	18,86	MS		
Tamani	67,85	5,07	0,23	0,21	5,36	1,02	1,05	4,14	6,96	4,41	9,97	15,43	MS		
Zuri	69,59	5,45	0,26	0,23	5,62	1,10	1,21	4,41	7,26	2,23	11,66	12,50	MT		
Média Geral	76,69	4,97	0,2	0,23	5,62	1,00	1,02	4,15	6,10	3,37	8,88	14,50	-		

*As abreviações dos índices de tolerância estão descritas na Tabela 1, no Material e Métodos.

Tabela 3. Produção de matéria seca, índices de tolerância ao estresse hídrico e classificação quanto a tolerância de 28 híbridos e cultivares de *Megathyrus maximus* avaliados no campo em solos arenosos.

Cultivar/ Híbrido	Índices de tolerância													TOL	Classe
	Produção de matéria verde														
	Y _P	Y _S	DI	STI	GMP	YI	k ₂ STI	HM	%PS	%PS1	%PS2				
Aruana	19,43	2,20	0,30	2,01	1,86	0,84	0,71	1,63	10,19	3,72	15,25	23,79	S		
Gatton	21,28	3,11	0,54	3,08	2,30	1,19	1,41	2,13	12,75	3,71	17,24	10,43	MT		
H101	25,71	2,76	0,37	3,19	2,34	1,05	1,11	2,05	9,69	3,53	14,87	9,14	T		
H108	23,96	2,45	0,31	2,60	2,11	0,93	0,87	1,83	9,27	4,97	12,89	15,93	MS		
H112	20,53	2,46	0,36	2,29	1,98	0,94	0,89	1,78	10,72	6,29	13,39	18,21	MS		
H113	24,35	1,88	0,18	2,01	1,86	0,72	0,51	1,50	7,16	5,50	8,75	22,36	S		
H117	22,38	2,90	0,46	2,93	2,24	1,11	1,22	2,04	11,46	4,46	17,44	10,36	MT		
H120	28,98	2,41	0,25	3,18	2,34	0,92	0,85	1,90	7,69	5,55	9,14	13,50	MT		
H121	22,05	2,73	0,42	2,67	2,14	1,04	1,09	1,94	11,01	3,02	18,04	13,71	MT		
H122	21,64	3,59	0,74	3,45	2,43	1,37	1,87	2,32	14,21	4,94	21,00	7,43	T		
H142	22,01	2,75	0,43	2,72	2,16	1,05	1,11	1,96	11,12	7,65	13,38	12,07	MT		
H151	22,11	2,21	0,27	2,20	1,94	0,84	0,71	1,67	9,07	7,98	9,91	21,07	S		
H152	23,36	2,58	0,35	2,71	2,16	0,98	0,97	1,90	9,94	6,09	13,06	13,07	MT		
H156	30,47	2,57	0,27	3,45	2,43	0,98	0,96	2,01	7,77	6,07	8,65	10,86	MT		
H169	22,51	2,43	0,32	2,52	2,08	0,93	0,86	1,81	9,74	6,40	11,43	17,71	MS		
H179	25,46	2,89	0,40	3,33	2,39	1,10	1,22	2,12	10,19	6,97	12,22	7,57	T		

Índices de tolerância													
Cultivar/ Híbrido	Produção de matéria verde												
	Y _P	Y _S	DI	STI	GMP	YI	k ₂ STI	HM	%PS	%PS1	%PS2	TOL	Classe
H182	24,54	2,76	0,39	3,01	2,27	1,05	1,11	2,01	10,10	6,59	12,30	10,36	MT
H197	21,08	2,45	0,35	2,32	1,99	0,93	0,87	1,78	10,40	5,42	14,14	18,57	S
H211	23,67	2,92	0,46	3,04	2,28	1,12	1,24	2,07	10,99	5,80	15,27	8,43	T
H216	22,76	2,47	0,33	2,52	2,08	0,94	0,89	1,82	9,77	5,80	12,64	15,50	MS
H219	22,56	2,43	0,33	2,44	2,05	0,93	0,86	1,80	9,72	4,30	13,44	18,29	MS
H96	24,23	2,36	0,29	2,52	2,08	0,90	0,81	1,78	8,86	5,17	11,51	17,64	MS
H97	20,61	2,34	0,33	2,16	1,92	0,89	0,80	1,71	10,19	7,60	12,30	20,79	S
Massai	26,33	2,09	0,20	2,56	2,10	0,80	0,63	1,67	7,34	5,04	8,82	18,50	S
Quênia	24,72	3,22	0,51	3,65	2,50	1,23	1,51	2,28	11,54	5,92	16,42	4,71	T
T110	25,28	2,17	0,23	2,46	2,05	0,83	0,68	1,69	7,89	4,63	9,87	19,57	S
Tamani	19,81	2,53	0,39	2,29	1,98	0,97	0,93	1,80	11,32	6,32	15,27	17,00	MS
Zuri	19,75	3,50	0,78	3,06	2,29	1,34	1,79	2,21	15,06	6,06	20,38	9,43	T
Média geral	23,27	2,61	0,38	2,73	2,16	1,00	1,02	1,90	10,18	5,55	13,54	14,50	

*As abreviações dos índices de tolerância estão descritas na Tabela 1, no Material e Métodos.

A falta de correlação entre a tolerância ao déficit hídrico para as duas características avaliadas (PMV e PMST) fica explícita na Figura 5. Entre os índices utilizados, os que apresentaram correlação significativa entre as duas características foram o STI, o GMP e a %PS2. Se esse resultado for corroborado no futuro, esses índices poderão ser suficientes na categorização quanto a tolerância à seca.

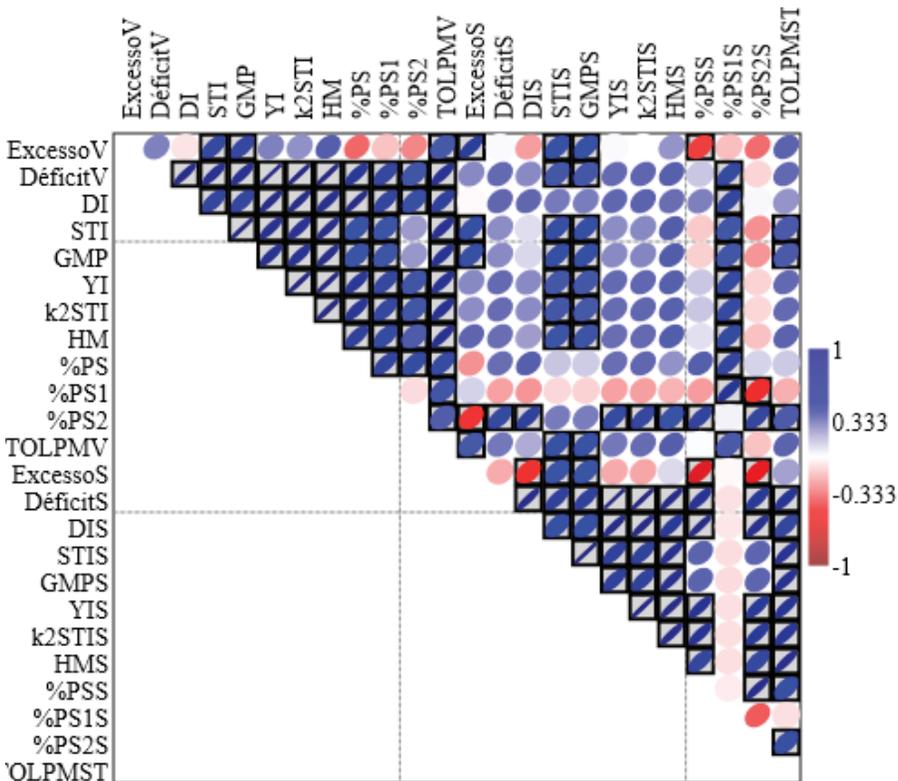


Figura 5. Correlações de Pearson entre os índices de tolerância (descritos na Tabela 1) para a produção de matéria verde e seca no excesso (ExcessoV, ExcessoS) e déficit hídrico (DéficitV, DéficitS) em *Megathyrus maximus*. Células contornadas em preto são significativas a $p < 0,05$. Quanto mais estreito e na diagonal for o símbolo dentro das células, maior é a correlação entre as duas características, podendo ser positivas (azul) ou negativas (vermelho).

O resultado do PCA é apresentado na Figura 6. Os dois primeiros componentes principais respondem por 80% da variação entre as cultivares e híbridos das gramíneas forrageiras avaliadas. O resultado apresenta graficamente a

lias, cultivares e híbridos de *M. maximus* em condições similares no Brasil, uma vez que há disponibilidade de ampla variabilidade genética no germoplasma da espécie na Embrapa (Jank *et al.*, 2014). Tal fator é importante na decisão de realizar esse tipo de avaliação em uma espécie para fins de seleção para tolerância à seca.

O *M. maximus* não apresenta indicação de cultivo e uso em condições de clima árido e semiárido no Brasil, a não ser sob irrigação. Entretanto, poderá ser indicado para a região do cerrado de baixa pluviosidade em que foi avaliado e, provavelmente, para regiões com solos e clima similares aos do Matopiba, desde que seja avaliado nas condições locais para persistência e produção.

Dessa forma, a metodologia adotada e validada nesse trabalho atuou nas duas frentes, avaliando genótipos em fase avançada do programa de melhoramento, os quais podem e são candidatos a cultivares a serem indicados para a região. Ainda, permitiu identificar genótipos a serem utilizados no programa de melhoramento visando aumentar a frequência de alelos favoráveis para a característica, na forma de cruzamentos.

Metodologicamente, indica-se:

1. Avaliação dos genótipos (famílias, acessos, híbridos, cultivares) em ambientes que sejam desafiadores para a manifestação da tolerância à seca;
2. Avaliação sob cortes ao longo do ano, por pelo menos dois anos, pois há variação temporal no clima, inclusive durante os períodos de déficit hídrico. Utilizar as informações de produção e de outras características avaliadas nos períodos de excesso e de déficit hídrico do mesmo local nos índices de tolerância;
3. Avaliação de diferentes características fenotípicas e outras que possam ser utilizadas na seleção fenômica e genômica. Nesse trabalho, avaliou-se a produção de matéria verde e seca e observou-se que a seleção pode ser diferente se baseada em apenas uma delas. A expressão da tolerância ao déficit hídrico, seja fisiológica, genética ou bioquimicamente, ainda precisa ser melhor compreendida em gramíneas forrageiras tropicais e, com isso, permitir o desenvolvimento de ferramentas de alta eficiência para a seleção precoce, com elevada acurácia e com maiores ganhos. Com isso, a avaliação de diversas características fenotípicas, tais como, condutância estomática e área foliar; características bioquímicas, como diferentes tipos e proteínas e açúcares, em

populações com diversidade genética para a característica tolerância à seca, devem ser também consideradas para contribuir nessa elucidação;

4. Utilização de índices de tolerância e avaliar a sua eficiência na seleção. No presente trabalho, evidenciou-se que os índices STI (Índice de tolerância ao estresse), o GMP (Produtividade média geométrica) e a %PS2 (Porcentagem de matéria seca no segundo ano) foram os mais eficientes, mas isso não se repetirá em todas as situações, necessariamente.

Agradecimentos

À Fazenda Trijunção, pelo financiamento e parceria na realização do trabalho. Ao gerente da Fazenda Trijunção Allan Figueiredo, aos estagiários e toda equipe da Fazenda por apoiar e possibilitar a execução deste trabalho. À Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED), pela gestão administrativa do projeto Trijunção.

Referências

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Beef Report – Perfil da pecuária no Brasil. 2023. Cap. 4. 16 p. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023-capitulo-04/>. Acesso em: 25 jul. 23.
- ALBUQUERQUE, P. E. P., GUIMARÃES, D. P., VIANA, J. H. M., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., SANTOS, F. C. Caracterização do balanço hídrico climatológico decenal na Fazenda Santa Luzia, município de Jaborandi, BA. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 2020. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 242).
- ANNICCHIARICO, P., PECETTI, L., BOUZERZOUR, H., KALLIDA, R., KHEDIM, A., PORQUEDDU, C., SIMOES, N. M., VOLAIRE, F., LELIEVRE, F. Adaptation of contrasting cocksfoot plant types to agricultural environments across the Mediterranean basin. **Environmental and Experimental Botany**, v. 74, p. 82–89. 2011.
- BLUM, A. **Plant breeding for stress environments**. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1988. pp. 1–12.
- CLIMATE change 2023: synthesis report. In: ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE, 6. Geneva, Switzerland, 2023. p. 35-115. Sections 1-4. Editors: Hoesung Lee, José Romero. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf. Acesso em: 15 jul. 23.
- DJAMAN, K., OWEN, C., KOUHAHE, K., O'NEILL, M. Evaluation of different fall dormancy-rating alfalfa cultivars for forage yield in a semiarid environment. **Agronomy**, v. 10, n. 1, 146, 2020.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Boi gordo. 2023. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

- FARSHADFAR, E., SUTKA, J. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. **Cereal Research Communications**, v. 31, p. 33–39, 2003.
- FERNÁNDEZ, G.C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Shanhua, Taiwan, 13–18 August 1992; pp. 257–270.
- GAUJOUR, E., AMIAUD, B., MIGNOLET, C., PLANTUREUX, S. Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p.133–160, 2012.
- GAVUZZI, P., RIZZA, F., PALUMBO, M., CAMPALINE, R.G., RICCIARDI, G.L., BORGHI, B. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 77, p. 523–531, 1997.
- GILMOUR, A. R., CULLIS, B. R., WELHAM, S. J., THOMPSON, R. **ASREML, reference manual**. Biometric bulletin, no 3, 1999, NSW Agriculture, Orange Agricultural Institute, Forest Road, Orange 2800 NSW Australia.
- HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n.1, 9p., 2001.
- HAYES, R. C., DEAR, B.S., LI, G. D., VIRGONA, J.M., CONYERS, M.K., HACKNEY, B.F., TIDD, J. Perennial pastures for recharge control in temperate drought-prone environments. Part 1: productivity, persistence and herbage quality of key species. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 53, p. 283–302, 2010.
- JAFARI, A., PAKNEJAD, F., JAMI AL-AHMADI, M. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production*., v. 3, p. 33–38, 2009.
- JANK, L., BARRIOS, S. C. L., VALLE, C. B., SIMEÃO, R. M., ALVES, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132-1137, 2014.
- KEEP, T., SAMPOUX, J. P., BARRE, P., BLANCO-PASTOR, J. L., DEHMER, K. J., DURAND JL, HEGARTY, M., LEDAUPHIN, T., MUYLLE, H., ROLDAN-RUIZ, I. To grow or survive: Which are the strategies of a perennial grass to face severe seasonal stress? **Functional Ecology**, v. 35, n.5, p. 1145-1158, 2021.
- KEMP, D. R., CULVENOR, R. A. Improving the grazing and drought tolerance of temperate perennial grasses. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 37, n. 3, p. 365-378, 1994.
- LANDAU, E. C.; RESENDE, R. M. S.; MATOS NETO, F. da C. Evolução da área ocupada por pastagens. In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e da silvicultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 3, cap. 46, p. 1555-1578.
- MAJIDI, M. M., HOSEINI, B., BARATI, M., MIRLOHI, A., ARAGHI, B. Simultaneous selection for seed and forage production on cocksfoot (*Dactylis glomerata*): application of drought tolerance and susceptibility indices. **Grass and Forage Science**, v. 72, p. 441-453, 2016.
- MALINOWSKI, D. P., KIGEL, J., PINCHAK, W. E. Water deficit, heat tolerance, and persistence of summer-dormant grasses in the U.S. Southern Plains. **Crop Science**, v. 49, n. 6, p. 2363–2370, 2009.
- NJARUI, D. M. G., GATHERU, M., MWANGI, D. M., KEYA, G. A. Persistence and productivity of selected Guinea grass ecotypes in semiarid tropical Kenya. **Grassland Science**, v. 61, p. 142-152, 2015.

NORTON, M. R., MALINOWSKI, D. P., VOLAIRE, F. Plant drought survival under climate change and strategies to improve perennial grasses. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 29, 2016.

PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; EVANGELISTA, S. R. M.; BOSI, C.; CAVALCANTE, A. C. R.; BETTIOL, G. M.; GOMIDE, C. A. M.; PELLEGRINO, G. Q. *Panicum maximum* cv. Tanzânia: climate trends and regional pasture production in Brazil. *Grass and Forage Science*, v. 72, p. 104-117, 2017.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing: version 4.3.1** Viena, AT: R Foundation for Statistical Computing. 2023.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

RESENDE, R. M. S., ANDRADE, C. de L. T. de, RESENDE, A. C., FERREIRA, F. N., BORGES JUNIOR, J. C. F., OLIVEIRA, I. C. M., JANK, L., SANTOS, M. F., BARRIOS, S. C. L. Resposta de cultivares de *Megathyrus maximus* à irrigação subótima. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 284).

SANTOS, F. C., AKER, A. M., SIMEÃO, R. M., RODRIGUES, J. A. S., MENEZES, C. B., GUIMARÃES, PEREIRA, A. F., DIAS, W. P., ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de, VASCONCELOS, A. de A., OLIVEIRA, I. C. M., JULIO, B. H. M. Avaliação preliminar da adaptação de culturas anuais e forrageiras às condições edafoclimáticas do Sul do Oeste baiano. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 2019. (Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 254).

SIMEÃO, R. M., SILVA, D. D. DA, SANTOS, F. C. DOS, VILELA, L., SILVEIRA, M. C. T. DA, RESENDE, A. C., ALBUQUERQUE, P. E. P. DE. Adaptation and indication of forage crops for agricultural production in sandy soils in western Bahia State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, e56144, 2021.

SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2004.

STAVER, A. C., WIGLEY-COETSEE, C., BOTHA, J. Grazer movements exacerbate grass declines during drought in an African savanna. **Journal of Ecology**, v. 107, p. 1482–1491, 2019.

TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, p. 175–190, 1986.

TURNER, N. C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, v. 58, p. 293-338, 1997.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Atlas digital das pastagens brasileiras. 2021. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

VOLAIRE, F. A unified framework for plant drought adaptive strategies: across scales and disciplines. **Global Change Biology**, v. 24, n. 7, p. 2929-2938, 2018.

ZUFFO, A. M., STEINER, F., AGUILERA, J. G., RATKE, R. F., BARROZO, L. M., MEZZOMO, R., SANTOS, A. S. D., GONZALES, H. H. S., CUBILLAS, P. A., ANCCA, S. M. Selected indices to identify water-stress-tolerant tropical forage grasses. **Plants**, v. 11, 2444, 2022.

Embrapa

Gado de Corte



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA
E PECUÁRIA

