

**FERNANDO RODRIGO SOARES NOGUEIRA**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE  
SORGO GRANÍFERO USANDO O MÉTODO GGE BILOT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Aluizio Borém

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

N778a Nogueira, Fernando Rodrigo Soares, 1982-  
2020 Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero  
usando o método GGE Biplot / Fernando Rodrigo Soares  
Nogueira. – Viçosa, MG, 2020.  
41 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Aluizio Borém de Oliveira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.38-41.

1. Sorgo - Resistência a seca. 2. Interação  
genótipo-ambiente. 3. Rotação de culturas agrícolas.  
4. Melhoramento genético. 5. Sorghum bicolor. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.62


**FERNANDO RODRIGO SOARES NOGUEIRA**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE  
SORGO GRANÍFERO USANDO O MÉTODO GGE BILOT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

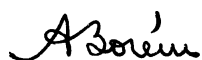
APROVADA: 18 de agosto de 2020.

Assentimento:



---

Fernando Rodrigo Soares Nogueira  
Autor



---

Aluizio Borém  
Orientador

A minha avó materna (em memória), Maria da Conceição Soares, pelo amor e dedicação, o que possibilitou chegar até aqui.

**DEDICO.**

Aos meus pais,

Maria José Rodrigues Soares  
Nogueira e Antonio Fernandes  
Nogueira, pessoas fundamentais  
em minha vida.

**OFEREÇO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois somente por vontade dele, que a realização dessa caminhada e convivência com todas essas pessoas tornou-se possível.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Aluizio Borém, pela orientação, amizade, confiança e pelos ensinamentos e conselhos.

Ao Prof. Tuneo Sedyama, pela amizade, confiança, pelos ensinamentos e conselhos.

Ao Prof. Cicero Beserra de Menezes, pela amizade, confiança, pelos ensinamentos e conselhos.

A instituição Embrapa Milho e Sorgo bem como todos aqueles que de alguma forma colaboraram direta ou indiretamente ao projeto de pesquisa que deu origem a minha dissertação.

Aos Professores Paulo Cecon e Paulo Sant'Anna e Castro pela amizade, confiança, pelos ensinamentos e conselhos.

Aos meus familiares e amigos, em especial aos meus pais, Antonio e Maria José, pelo apoio e educação, ao meu irmão, Antonio Nogueira Jr e ao meu primo Carlos Nogueira.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho a minha sincera gratidão.

## RESUMO

NOGUEIRA, Fernando Rodrigo Soares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2020. **Adaptabilidade e Estabilidade de híbridos de sorgo granífero usando o método GGE Biplot.** Orientador: Aluízio Borém.

Devido às adversidades climáticas encontradas na segunda safra, o sorgo, espécie tolerante ao estresse hídrico, é uma opção para compor o sistema de produção em rotação ou sucessão a soja, para agricultores que buscam aumentar sua rentabilidade. Objetivou-se com este trabalho estimar a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero na segunda safra em Sete Lagoas, Guaíra, Janaúba e Teresina, identificar a formação de mega-ambientes e recomendar híbridos promissores. Foram instalados ensaios sob o sistema de plantio direto, na segunda safra de 2016 e 2017, no delineamento em blocos casualizados com três repetições. Foi realizada a avaliação de 15 híbridos experimentais de sorgo granífero oriundos do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, e 2 híbridos comerciais (BRS330 e BRS373) como testemunha. Florescimento (FLOR), altura de plantas (ALT) e produtividade de grãos (PROD) foram as características avaliadas. Os dados foram submetidos a análise de variância individual e conjunta e como houve interação Genótipo x Ambiente, com isso, realizamos a análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método GGE Biplot. As herdabilidades foram altas (superiores a 0,60), com exceção da avaliação de PROD nos municípios de Janaúba e Teresina no ano de 2017. As médias de PROD, de maneira geral, superaram a média de produtividade nacional. As médias de ALT e FLOR indicaram que as plantas avaliadas estão dentro do intervalo recomendado para a mecanização da colheita além de apresentarem ciclo precoce, respectivamente. O método GGE biplot identificou os híbridos 1167048, 1239017, 1244003, 1324228, 1516049 sendo os mais estáveis e houve adaptabilidades específicas. Para PROD revelou um mega-ambiente formado por Sete Lagoas e Guaíra, para ALT foi identificado um mega-ambiente formado por Sete Lagoas, Guaíra e Janaúba, e para FLOR também houve a formação de um mega-ambiente entre Sete Lagoas e Guaíra. Os híbridos 1516049, 1239017 e 1516037 são os mais promissores.

Palavras-chave: Resistência a Seca. Sucessão de culturas. Rotação de culturas. Interação Genótipo x Ambiente. Melhoramento vegetal. *Sorghum bicolor*.

## ABSTRACT

NOGUEIRA, Fernando Rodrigo Soares Nogueira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2020. **Adaptability and stability of sorghum hybrids using the GGE Biplot method.** Adviser: Aluizio Borém.

Due to the climatic adversities found in the second season, the sorghum, a species tolerant to water stress, is an option to compose the production system in rotation or succession to soybeans, for farmers who seek to increase their profitability. The objective of the present work was to estimate the adaptability and stability of graniferous sorghum hybrids in the off season in Sete Lagoas, Guaíra, Janaúba and Teresina, to identify the formation of mega-environments and to recommend promising hybrids. Tests were installed under the no-tillage system, in the off-season of 2016 and 2017, in a randomized block design with three replications. An evaluation of 15 experimental hybrids of graniferous sorghum from the genetic improvement program of Embrapa Corn and Sorghum, and 2 commercial hybrids (BRS330 and BRS373) were used as controls. Flowering (FLOWER), plant height (ALT) and grain yield (PROD) were the characteristics evaluated. The data were submitted to individual and joint analysis of variance and as there was the interaction Genotype x Environment, with this, we carried out the analysis of adaptability and stability by the GGE Biplot method. Heritabilities were high (higher than 0.60), with the exception of the PROD assessment in the municipalities of Janaúba and Teresina in 2017. PROD averages, in general, exceeded the national productivity average. The averages of ALT and FLOR indicated that the evaluated plants are within the recommended range for mechanization of the harvest in addition to having an early cycle, respectively. The GGE biplot method identified hybrids 1167048,1239017,1244003,1324228,1516049 being the most stable and there were specific adaptations. For PROD it revealed a mega-environment formed by Sete Lagoas and Guaíra, for ALT it was identified a mega-environment formed by Sete Lagoas, Guaíra and Janaúba, and for FLOR it also reveals the formation of a mega-environment between Sete Lagoas and Guaíra. Hybrids 1516049, 1239017 and 1516037 are the most promising.

Keywords: Drought resistance. Crop succession. Crop rotation. Genotype x Environment interaction. Plant breeding. *Sorghum bicolor*.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Revisão de Literatura .....</b>	<b>11</b>
2.1. <i>Sorgo Granífero</i> .....	11
2.2. <i>Melhoramento de Sorgo Granífero</i> .....	11
2.3. <i>Adaptabilidade e Estabilidade</i> .....	12
<b>3. Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Materiais e Métodos .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Resultados e Discussão .....</b>	<b>18</b>
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>37</b>
<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>38</b>

## 1. Introdução

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de grãos, as razões para esse fato são: por apresentar um grande potencial produtivo, e a possibilidade da realização da segunda safra. A Produtividade de segunda safra cresce a cada ano, e o plantio ocorre em sucessão à cultura da soja, no final de fevereiro/março. (CONAB, 2018).

O uso do sorgo em sucessão a soja é uma estratégia para a diversificação de culturas porque proporciona um incremento de palhada no ecossistema, e essa é fonte de carbono orgânico para o solo, para cada 1% de carbono orgânico no solo há um aumento de 1 quilo por hectare na produção de soja e são necessários 12 anos no sistema de plantio direto para esse aumento. No entanto, ao se tratar de segunda safra, as adversidades climáticas e semeaduras tardias são alguns dos desafios encontrados pelos produtores (SILVA et al., 2015).

Dentre os diferentes tipos de sorgo, destaca-se o sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cujo grão pode ser utilizado na alimentação animal, na forma de ração ou silagem (de grãos secos ou úmidos), em substituição ao milho, e na alimentação humana, na forma de farinha, como fonte de fibra alimentar e compostos bioativos, mas também na produção de mingaus, pães, cuscuz, bolos, biscoitos e massas(MARTINS et al., 2016).

O sorgo é uma planta autógoma, ou seja, cerca de 95% de sua reprodução é realizada por autofecundação e os outros 5% é realizado por reprodução cruzada,por esse motivo ele é uma planta autógama com baixa taxa de alógamia, além de ser um híbrido, resultado do cruzamento entre duas linhagens puras e é indicado para sistemas de produção que utilizam alta tecnologia, pois possui o maior potencial produtivo.

Na perspectiva do melhoramento genético, caracteres denominados quantitativos, como a produtividade de grãos, sofrem grande influência dos fatores ambientais sob o valor fenotípico dos indivíduos avaliados. No caso da avaliação de genótipos em vários ambientes, a interação genótipos  $\times$  ambientes ( $G \times A$ ), pode afetar a classificação dos genótipos avaliados em cada um dos ambientes testados, dificultando a recomendação ( REGAZZI, 2014).

Assim, na fase final de programas de melhoramento, é comum a avaliação de potenciais cultivares em vários locais, safras e anos, antes que estes possam ser recomendados aos agricultores (BERNARDO; YU, 2007).

Dentre as formas de contornar os efeitos da interação  $G \times A$ , Cruz et al., (2014), destaca-se a estratificação ambiental, o qual busca identificar ambientes com alta correlação, exercendo um padrão de resposta dos genótipos dentro dos grupos formados, formando sub-regiões nas quais a interação  $G \times A$  deve ser não significativa ou simples, não alterando a classificação dos genótipos facilitando assim a recomendação para as sub-regiões.

Para a validação do desempenho e recomendação dos híbridos experimentais desenvolvidos, esses são testados e avaliados em ensaios de múltiplos ambientes (MET – *multi environment trials*) visando avaliar a interação  $G \times A$ . Dentre estes ensaios MET, os ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) que são realizados pelas empresas de melhoramento, como pré-requisito no registro legal das novas cultivares, aumentando assim a confiança em se recomendar um cultivar ou híbrido.

Várias dificuldades são encontradas pelos programas de melhoramento, uma delas é a interação  $G \times A$ , essa pode influenciar o desempenho dos genótipos avaliados e complicar o processo de recomendação. Entretanto, o conjunto de dados obtidos de ensaios de VCU, ao longo dos anos/safra/locais proporciona um desbalanceamento dos genótipos, devido a eliminação dos genótipos que obtiveram um desempenho inferior e a introdução de novos genótipos que são desenvolvidos pelos programas de melhoramento.

Resende e Thompson (2004), retratam que as metodologias clássicas normalmente utilizadas, não possibilitam aos programas de melhoramento realizar as análises em conjunto. No entanto, com a metodologia de modelos lineares mistos, torna-se viável realizar a análise conjunta destes dados em múltiplos ambientes. Esta metodologia permite, além da análise conjunta, a integração com informações de pedigree, marcadores moleculares e covariáveis ambientais, possibilitando assim um melhor ajuste e estratificação dos ambientes.

Os programas de melhoramento podem adotar estratégias de *design* de mega ambientes o que poderia aumentar a resposta de seleção e otimizar a alocação de recursos envolvidos no programa. Diversos trabalhos definem os mega ambientes com base nos dados fenotípicos ou dados fenotípicos e climáticos com a utilização de análises multivariada.

Nestas metodologias, os vários ambientes utilizados para a avaliação de uma determinada característica são tratados como variáveis e são agrupados, permitindo assim a estratificação dos ambientes em grupos homogêneos. Pesquisas em

estratificação ambiental e definição de mega ambientes podem proporcionar economia de mão de obra e recursos financeiros para os programas de melhoramento (CRUZ 2004).

Assim, objetiva-se com este trabalho estimar a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero na segunda safra em Sete Lagoas, Guaira, Janaúba e Teresina, identificar a formação de mega-ambientes e por fim recomendar híbridos que reúnam o máximo possível das características de interesse, com a utilização de dados dos ensaios de VCU de experimentos da Embrapa Milho e Sorgo nos anos agrícolas de 2016 e 2017.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1. Sorgo Granífero**

O sorgo granífero é uma gramínea pertencente à família das *Poacea* do gênero *Sorghu*, espécie *Sorghum bicolor* L. Moench., possui raízes fibrosas que se desenvolvem profundamente em ambientes viáveis, e raízes adventícias acima do solo que fornecem proteção para a planta contra tombamento. O sorgo é sensível ao fotoperiodismo, floresce em noites longas, ou seja, é uma planta de dias curtos.(JULIO G. VELAZCO et al., 2019).

Dentre os diferentes tipos de sorgo, destaca-se o sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cujo grão pode ser utilizado na alimentação animal, na forma de ração ou silagem (de grãos secos ou úmidos), em substituição ao milho, e na alimentação humana, na forma de farinha, como fonte de fibra alimentar e compostos bioativos, mas também na produção de mingaus, pães, cuscuz, bolos, biscoitos e massas (MARTINS et al., 2016).

### **2.2. Melhoramento de Sorgo Granífero**

Os programas de melhoramento de sorgo granífero têm como base o desenvolvimento de linhagens, das quais visam à obtenção de híbridos com potencial produtivo de grãos elevados. Isso ocorre, principalmente, devido a exploração do fenômeno da heterose, que foi descoberto em 1927. (ROONEY, 2011).

Para a obtenção de híbridos de sorgo granífero, diversos aspectos devem ser levados em consideração, dentre eles o potencial produtivo, adaptabilidade e estabilidade para determinadas regiões, tolerância a doenças e acamamento, ciclo e porte (altura). Um fato que contribui para o desenvolvimento de híbridos de sorgo foi a descoberta do evento da macho-esterilidade, devido a presença de genes mitocondriais de herança materna (gene *Milo*) responsáveis pela macho-esterilidade, e de genes nucleares restauradores de fertilidade (gene *Kafir*) (REDDY; RAMESH; ORTIZ, 2005). Para obtenção dos híbridos, são utilizadas linhagens macho-estéreis, denominadas A, como fêmeas, cruzadas com linhagens restauradoras de fertilidade R (ROONEY, 2004).

A linhagem macho-estéril, denominada A, é produzida pelo cruzamento de plantas macho-estéreis com pólen de uma linhagem denominada mantenedora (B). As sementes produzidas pelo cruzamento entre linhagens A e B resultarão em plantas A (macho-estéreis), isso é, a linhagem B não restaura a fertilidade sobre a linhagem A. As linhagens A e B são isogênicas, entretanto diferentes na fertilidade do pólen (SMITH; FREDERIKSEN, 2000). Por consequência, para obtenção de híbridos de sorgo em um programa de melhoramento é fundamental a manutenção das linhagens, denominadas A, B e R.

## 2.4. Adaptabilidade e Estabilidade

Nos programas de melhoramento várias etapas são necessárias para a identificação de genótipos superiores, dentre as quais, os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Esses são de extrema importância nos programas de melhoramento genético e tem por objetivo validar um genótipo potencial nas diferentes condições de cultivo, além de aumentar a confiança em se recomendar para determinada região uma cultivar através de estudos de adaptabilidade e estabilidade.

As principais características estudadas nos programas de melhoramento são de herança quantitativa, ou seja, controlada por dois ou mais genes, e sofrem uma enorme influência dos fatores ambientais no valor fenotípico dos genótipos que são avaliados. Sendo assim a interação G x A torna-se de extrema importância, principalmente quando a interação existente é de natureza complexa. Pois a avaliação de um grupo de genótipos em um grupo de ambientes pode afetar a classificação dos mesmos, dificultando a seleção (REGAZZI, 2012).

Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) apresentam inúmeras formas de estudar e também contornar a interação G x A, dentre as quais chama-se a atenção a análise de Adaptabilidade e Estabilidade, método esse que identifica uma maior correlação de igual resposta dos genótipos em um conjunto de ambientes, agrupando-os em mega-ambientes os ensaio mais homogêneas. Nesses mega-ambientes, a interação G x A deve ser não significativa ou do tipo simples, a qual não altera a classificação de superioridade dos genótipos, fazendo com que a recomendação para o conjunto de ambientes seja facilitada.

O Método GGE biplot é uma modificação do método AMMI, e constitui-se na análise de componentes principais para o estudo de ensaios multi-ambientes, e com isso permite a visualização se existem relações entre os ambientes testados, os genótipos e interação genótipo X ambiente. O método agrupa os efeitos aditivos dos genótipos com os efeitos multiplicativos da interação e submete à análise de componentes principais. As vantagens da metodologia GGE Biplot em relação a AMMI são: método GGE biplot explica sempre uma porção intermediária da soma de quadrados de genótipos mais a interação, e ambos os eixos estão na mesma escala, portanto, o gráfico GGE biplot mostra não só a performance média e a estabilidade de cada genótipo, mas também a performance relativa de cada genótipo em cada ambiente (YAN et al., 2007).

Ao se comparar as metodologias AMMI e GGE Biplot na formação de Mega-ambientes, de acordo com Camargo e Buitrago et all (2011) existe cerca de 95,2% de coincidência entre os resultados das duas metodologias. Assim a metologia GGE Biplot é mais indicada para a identificação de mega-ambientes, seleção de ambientes representativos e indicação de cultivares mais adaptados e estáveis a ambientes específicos . Por outro lado, a análise AMMI é usada com eficiência para condições ambientais superiores e para a exploração agrícola ( Gauch et al,2008; Yan, 2010).

### **3. Objetivo Geral**

Objetivou-se com este trabalho estimar a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero na segunda safra em Sete Lagoas, Guaíra, Janaúba e Teresina, identificar a formação de mega-ambientes e por fim recomendar híbridos que reúnam o máximo possível das características de interesse, com a utilização de dados dos ensaios de VCU de experimentos da Embrapa Milho e Sorgo nos anos agrícolas de

2016 e 2017.

#### **4. Materiais e Métodos**

Os ensaios foram conduzidos na segunda safra de 2016 e 2017, em sistema de plantio direto, em quatro municípios. Na estação experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas – MG (767 m de altitude, 19° 27' 57" S e 44° 14' 49" O), com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico e clima dominante do tipo Cwa, mesotérmico úmido, apresenta verão quente e chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro), sendo a precipitação média anual de 1.367mm. Na estação experimental da EMBRAPA Meio Norte em Teresina – PI (61,0 m de altitude, 05°02'8,6'' S e 42°47'7,4'' O), solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, clima do tipo Aw e caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Na estação experimental da EMBRAPA Janaúba – MG (510 m de altitude, 15°48'7,3'' S e 43°19'8,2'' O), solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média, clima do tipo Aw e caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Na estação experimental da EMBRAPA em Guaíra-SP(507 m de altitude, 20°19'6,3'' S e 48°19'3,4'' O), solo classificado como Argissolo Vermelho distrófico, clima do tipo Aw e caracterizado como úmido, com excedente hídrico moderado no verão.

A adubação de semeadura foi realizada com 130 kg ha<sup>-1</sup> de 08-20-18. A adubação de cobertura, utilizaram-se 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi realizada aproximadamente 25 dias após a emergência das plantas. Todos os tratamentos culturais foram realizados conforme recomendação para a cultura.

Foram realizados oito ensaios de competição de cultivares de sorgo granífero nos anos de 2016 e 2017 nas cidades Sete Lagoas – MG, Guaíra – SP, Janaúba – MG e Teresina – PI, conforme indicado na figura 1. As características climáticas dos diferentes ambientes são mostradas Tabela 1.



**Figura 1** – Representação do mapa do Brasil com os ambientes de instalação dos experimentos nos anos de 2016 e 2017.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso. As características avaliadas foram: a) Produtividade de grãos, obtida a partir da colheita das panículas da área útil da parcela e posterior trilhagem e pesagem dos grãos, sendo os valores extrapolados para  $t\ ha^{-1}$  e corrigidos para 13% de umidade b) Florescimento, considerando-se o número de dias da semeadura até o florescimento, o qual foi definido quando, na parcela, em mais de 50% das plantas, as flores do terço médio da panícula entraram em antese. c) Altura de planta, medindo-se em centímetros da superfície do solo ao ápice da panícula, considerando amostra de dez plantas por parcela (Tabela 1).

**Tabela 1** – Descrição dos locais e as respectivas características avaliadas em cada ano e local.

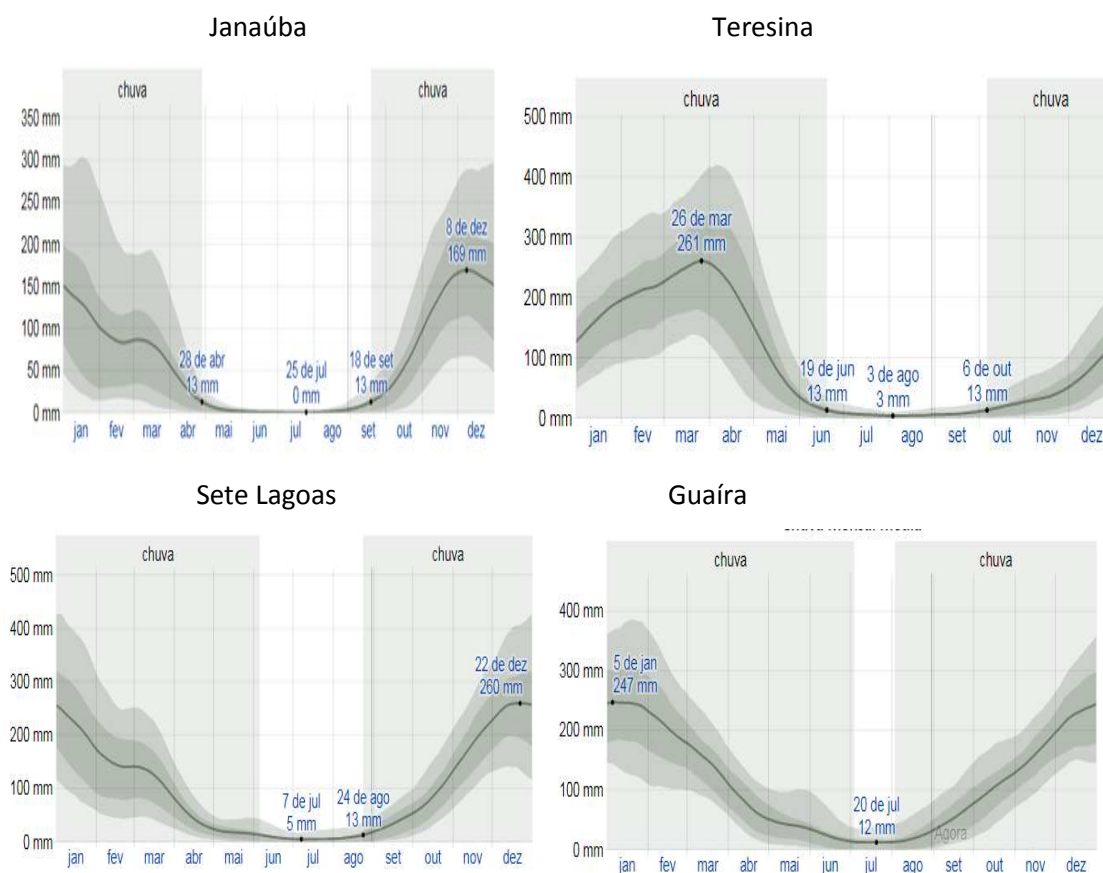
Ambiente	Sigla	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Temperatura	PROD	ALT	FLOR
2016								
Sete Lagoas	SL	773	-19°28'	-44°15'	(22.1)	X	X	X
Guaíra	GUA	507	-20°19'	-48°19'	(23.1)	X	X	-
Janaúba	JAN	510	-15°48'	-43°19'	(24.2)	X	X	X
Teresina	TER	81	-5°05'	-42°48'	(28.4)	X	X	X
2017								
Sete Lagoas	SL	773	-19°28'	-44°15'	(22.1)	X	X	X
Guaíra	GUA	507	-20°19'	-48°19'	(23.1)	X	X	X
Janaúba	JAN	510	-15°48'	-43°19'	(24.2)	X	X	X
Teresina	TER	81	-5°05'	-42°48'	(28.4)	X	X	X

Foram avaliados 15 híbridos experimentais: 1105661, 1167048, 1167092, 1167093, 1236020, 1236043, 1239017, 1244003, 1324228, 1324241, 1516037, 1516043, 1516049, 1527039, 1527052 e duas testemunhas comerciais: BRS 330 e BRS 373.

O plantio manual dos experimentos ocorreu em março de 2016, no dia dois em Sete Lagoas e Teresina, seis em Guaíra, quatorze em Janaúba, e para o ano de 2017 também ocorreu em março, no dia cinco em Sete Lagoas, sete em Teresina, dois em Guaíra e dez em Janaúba. O manejo fitossanitário, em todos os locais foi realizado conforme exigências da cultura e necessidade observada em levantamentos amostrais (EMBRAPA, 1982). A população final foi de aproximadamente 180 mil plantas por hectare, após a realização do desbaste. A colheita dos experimentos foi realizada em julho para o ano de 2016, sendo em dois em Sete Lagoas, oito em Teresina, dez em Guaíra e dez em Janaúba. A colheita dos experimentos foi realizada em julho para o ano de 2017, sendo em dois em Sete Lagoas, oito em Teresina, dez em Guaíra e dez em Janaúba.

**Figura 2.** Pluviometria média nos municípios de Janaúba, Teresina, Guaira e Sete Lagoas.

Fonte: Estações automáticas INMET.



Os dados foram submetidos a análise individual de variância, com o efeito de tratamentos considerados fixos e todos os outros efeitos considerados aleatórios. Posteriormente foi realizado análise conjunta, de acordo com o seguinte modelo estatístico, considerando todos os experimentos:

$$y_{ijk} = \mu + r_j(a_k) + g_i + a_k + g_i a_k + \varepsilon_{ijk}$$

sendo,  $r_j(a_k)$  o efeito aleatório do bloco  $j$  no ambiente  $k$ ;  $a_k$  : o efeito aleatório do  $j$ -ésimo ambiente;  $g_i a_k$  : efeito aleatório da interação entre o genótipo  $i$  com o ambiente  $k$  e  $\varepsilon_{ij}$  é um efeito residual, com  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ , em que  $\sigma_\varepsilon^2$  é a variação residual. Todas os modelos foram realizados no ASReml-R v.3 package (BUTLER et al., 2009), disponível no R software.

Para o agrupamento de médias dos genótipos, foi utilizado o critério de agrupamento de Scott-Knott, sendo todas as análises realizadas utilizando o programa Genes (CRUZ, 2013).

Os dados foram submetidos à análise de adaptabilidade e estabilidade usando o GGE metodologia biplot (YAN et al., 2000). O modelo biplot GGE utilizado foi:

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + y_{1\epsilon_i1\rho_{j1}} + y_{2\epsilon_i2\rho_{j2}} + \epsilon_{ijk}$$

onde  $y_{ij}$  é a característica avaliada para o genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\mu$  é a média geral de observações;  $\beta_j$  é o principal efeito do meio ambiente;  $y_1$  e  $y_2$  são os erros associados ao primeiro (PC1) e segundo componente principal (PC2), respectivamente;  $\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$  são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o genótipo da ordem  $i$ ;  $\rho_{j1}$  e  $\rho_{j2}$  são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o ambiente da ordem  $j$ ; e  $\epsilon_{ijk}$  é o erro associado ao modelo de o  $i$ -ésimo genótipo e  $j$ -ésimo ambiente (YAN et al., 2000). Esta análise foi realizada usando o Pacote metan implementado no software R (R Development Core Team, 2014).

## 5. Resultados e Discussão

Os coeficientes de variação obtidos nas análises de variância individuais e plotados na Tabela 2 foram inferiores a 20% para produtividade de grãos, enquanto que para altura de plantas e florescimento, os valores não ultrapassaram 10% com exceção de Teresina, na safra de 2017, em que este valor foi levemente superior (10,70%). Valores similares de CV têm sido observados na avaliação de genótipos de sorgo granífero para as mesmas características avaliadas neste trabalho (GOMES et al., 2019; MENEZES et al., 2014b, 2015a, 2015b; TARDIN et al., 2013). Isso deixa claro que os valores observados são intrínsecos das características avaliadas para esta cultura, reforçando a credibilidade das avaliações realizadas.

As herdabilidades, de maneira geral, foram altas ( $> 0,60$ ) para todas as características em todos locais para os dois anos avaliados (Tabela 2). Estes valores são similares aos observados na literatura em sorgo granífero. Menezes et al. (2015b) encontraram herdabilidade para produtividade de grãos de 38,70%, para altura de plantas 86,99% e 67,04% para florescimento. Outros trabalhos envolvendo as mesmas

características avaliadas para esta cultura também apresentaram valores próximo aos que foram observados em sorgo granífero neste estudo (GASURA; SETIMELA; SOUTA, 2015; MENEZES et al., 2015a). Apenas PROD e ALT avaliada em 2017 em Teresina, e FLO avaliada em Guaíra apresentaram valores inferiores a 0,60.

A observação de herdabilidades altas indica que a maior parte da variabilidade é de natureza genética, o que possibilita ganhos com a seleção de híbridos promissores (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Os municípios de Janaúba e Teresina no ano de 2017 foram aqueles que apresentaram as herdabilidades mais baixas para PROD dentre os locais avaliados no mesmo ano, com valores de 0,60 e 0,14, respectivamente. A precipitação pluviométrica é um dos fatores que pode interferir na produtividade, mesmo para o sorgo granífero, que é um dos cereais mais tolerantes à seca (MENEZES et al., 2015a; SCHAFFERT et al., 2011). Assim, regiões em que a ocorrência de chuvas é baixa ou irregular podem contribuir para a observação deste déficit da produtividade. A observação de herdabilidades baixas nestes locais reforça a ideia de que algo atípico possa ter ocorrido na avaliação ou condução do experimento, resultando nos valores observados.

As médias de produtividade de grãos (PROD) foram superiores a média nacional dos mesmos anos para a maioria dos ambientes avaliados (Tabela 2). Apenas Janaúba e Teresina, no ano de 2017 apresentaram valores de PROD inferiores a  $2,97 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$  (CONAB, 2018). Os números observados abaixo da média sugerem que algum fator contribuiu para que este déficit de produtividade fosse registrado, pois nestes mesmos locais no ano anterior, a média se manteve acima da nacional.

Durante o período de condução dos experimentos no município de Janaúba no ano de 2017, foi decretado estado de calamidade pública, decreto número 041/2017, por que o município ficou 180 consecutivos sem chuva, o mesmo ocorreu no município de Teresina, para o ano de 2017, assim os valores de produtividade média foram menores que a média nacional em decorrência do déficit hídrico nesses locais.

A média de altura de plantas (ALT) em todos locais e anos avaliados variou entre 100 e 150 cm (Tabela 2). Este intervalo de altura é desejável visando uma colheita que possa ser realizada de forma mecanizada, uma vez que a colheita dessa cultura geralmente é realizada com adaptações de colhedoras de soja ou milho, que operam dentro deste intervalo de comprimento (TARDIN et al., 2013). Além disso, existe uma correlação positiva entre altura de plantas e produtividade de grãos, entretanto plantas muito altas tendem a acamar devido ao vento e o peso da panícula (MENEZES et al.,

2015b). Assim, uma planta com altura dentro do intervalo recomendado favorece o agricultor otimizando a colheita além de evitar perdas devido ao tombamento.

As médias de dias para florescimento (FLOR) evidenciaram que os híbridos avaliados são de ciclo precoce (Tabela 2). A alta correlação entre o florescimento com o ciclo da cultura é uma importante medida para o sorgo na safrinha, por ser uma fase muito sensível ao estresse hídrico (MENEZES et al., 2015a). Assim, quanto mais cedo a planta completar seu ciclo, maior chance ela terá de escapar do período seco (MENEZES et al., 2015a). No presente trabalho, a média dos híbridos em todos ambientes avaliados está próximo de 60 dias. Vale ressaltar que é importante que exista cultivares com uma faixa de variação dentro do aceitável de dias para o florescimento, para que os genótipos possam ser plantados em diferentes épocas permitindo que a colheita possa ser feita de forma escalonada (TARDIN et al., 2013).

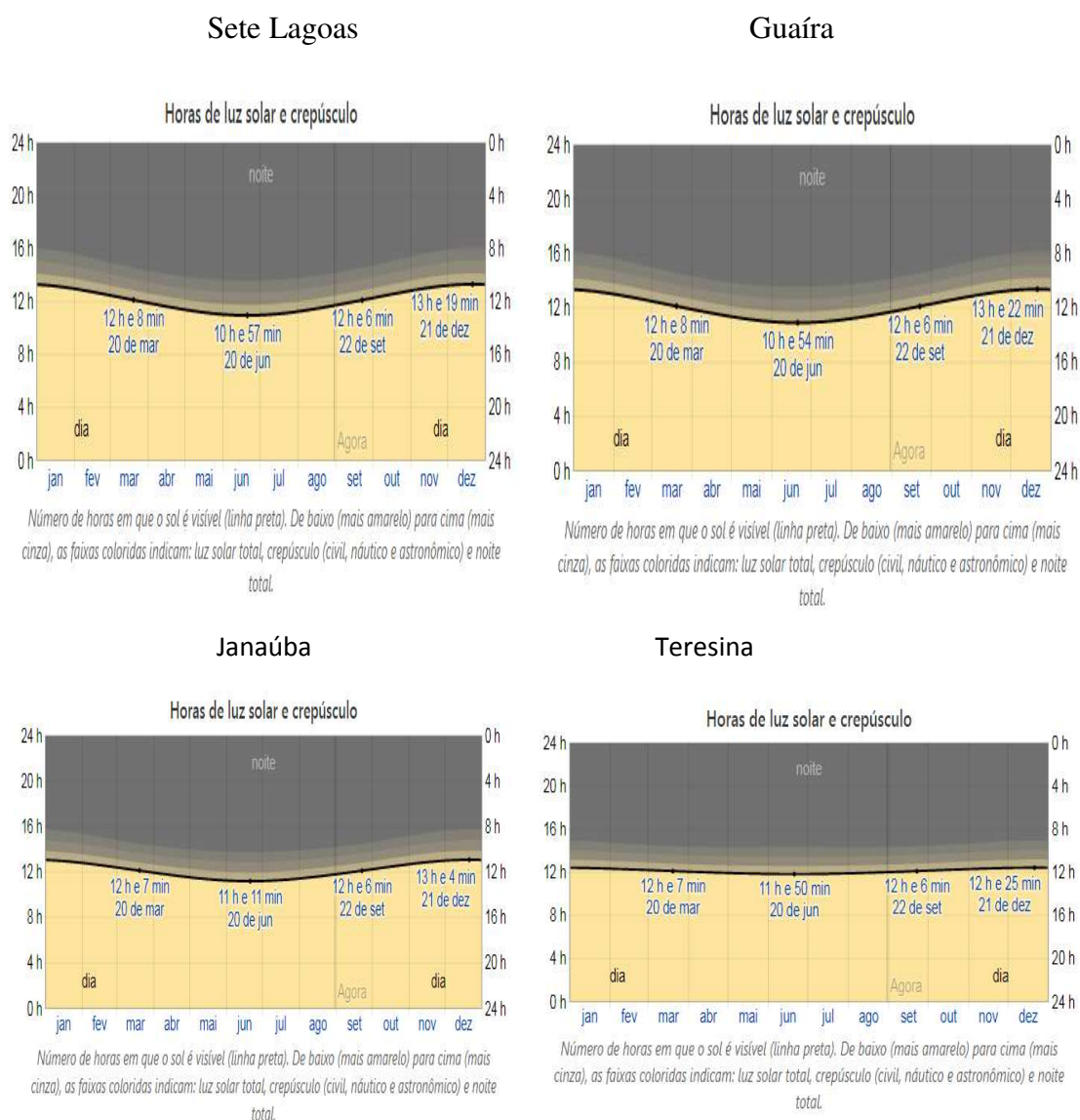
**Tabela 2** - Médias e parâmetros genéticos para as características produtividade de grãos ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), florescimento (dias), altura de plantas (cm) para 17 híbridos de sorgo granífero em cada local, avaliado nos anos de 2016 e 2017.

ANO	LOCAL	Produtividade de grãos			Altura de plantas			Florescimento		
		Média	CV%	$h^2$	Média	CV%	$h^2$	Média	CV%	$h^2$
2016	SL	4,18	7,3	0,83	133,30	4,62	0,91	59,00	4,60	0,87
2016	GUA	4,50	18,5	0,82	140,10	3,59	0,83	-	-	-
2016	JAN	3,62	18,1	0,62	111,37	8,77	0,64	60,31	5,61	0,96
2016	TER	3,85	15,6	0,73	129,31	7,45	0,82	56,45	5,69	0,92
2017	SL	3,95	10,3	0,77	121,29	5,28	0,93	66,20	6,59	0,94
2017	GUA	4,54	15,5	0,82	135,59	4,42	0,87	64,29	3,93	0,55
2017	JAN	2,77	19,3	0,60	108,24	5,53	0,86	60,80	4,94	0,93
2017	TER	2,73	14,6	0,14	98,80	10,70	0,49	56,05	5,27	0,91

O fotoperiodismo é definido como a resposta do desenvolvimento da planta à duração dos períodos de luz e de escuro, afetando a indução floral e o crescimento final. O fotoperíodo crítico do sorgo ocorre da seguinte forma: se o comprimento do dia aumenta, a planta não floresce, ao passo que se o comprimento do dia decresce, tornando-se menor que 12 horas e 20 minutos, ocorrerá a indução floral e, então, a planta floresce (TARDIN et al., 2010). Assim concluí-se que o fotoperíodo não interferiu nos dias para o florescimento, porque todos os locais apresentaram fotoperíodo abaixo do fotoperíodo crítico do sorgo, o que permitiu a indução floral e florescimento da planta.

**Figura 3.** Fotoperíodo nos municípios de Janaúba, Teresina, Guaíra e Sete Lagoas.

Fonte: Estações automáticas INMET.



Na análise de variância conjunta (Tabela 3), foi detectado efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) para genótipos (G), locais (L), anos (A) e para a interação G x L. A fonte de variação G x A x L foi significativa, o que permite inferir que o efeito da safra (ano) interferiu na resposta dos genótipos. Estes resultados significativos para as interações indicam que o desempenho dos genótipos varia de acordo com o ano e com o local, o que dificulta as recomendações (COSTA et al., 2015). Este fato sugere a necessidade de identificar genótipos estáveis e que apresentem alta produtividade de grãos para os ambientes avaliados (GASURA; SETIMELA; SOUTA, 2015), além de possuir boas estimativas para as demais características. A interação G x A foi significativa apenas

para produtividade de grãos (PROD) e dias para florescimento (FLOR). O efeito não significativo dessa interação para a característica altura de plantas (ALT) evidencia que não houve alteração significativa no comportamento do genótipo em relação a esta característica nas duas safras avaliadas. Ou seja, as alturas observadas para os híbridos em todos locais avaliados no ano de 2016 não diferem estatisticamente das observações realizadas no ano seguinte. Isso permite praticar a seleção baseada nesta característica com mais segurança, pois espera-se que o comportamento de um genótipo não tenha grandes variações de altura de um ano para outro, no mesmo local de avaliação.

Os coeficientes de variação (CV%) obtidos na ANOVA conjunta foram de 16,1% para PROD, 6,31 para ALT e 2,63 para FLOR, conforme verificado na Tabela 3. Estes valores de CV% revelam boa precisão experimental de acordo com os critérios de Pimentel-Gomes (2009). Para FLOR e ALT, estes números são similares e, para PROD, os valores estão abaixo das observações de outros trabalhos com avaliação de genótipos de sorgo granífero em múltiplos ambientes (GASURA; SETIMELA; SOUTA, 2015; GOMES et al., 2019; TARDIN et al., 2013). Portanto, os dados apresentados neste trabalho possuem credibilidade para investigação dos ambientes avaliados.

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos (PROD), altura de plantas (ALT), florescimento (FLOR), avaliadas em quatro ambientes: Sete Lagoas-MG, Guaira-SP, Janaúba- MG e Teresina-PI, em 2016 e 2017.

FV	GL	QM		GL	QM FLOR
		PROD	ALT		
Bloco/ Ambiente	16	2,47	178,41	12	8,68
Genótipo (G)	16	2,87**	1583,78**	16	123,97**
Locais (L)	3	46,01**	16681,72**	1	1080,27**
Ano (A)	1	22,77**	16043,93**	2	444,97**
GxL	48	1,41**	177,49**	32	18,67**
GxA	16	1,49**	62,90 <sup>ns</sup>	16	6,08**
G x A x L	48	1,13**	170,35**	32	7,46**
Resíduo	256	0,36	59,51	192	2,47
Média		3,73	122,25		59,79
CV		16,10	6,31		2,63

O método GGE biplot apresenta em seus gráficos os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), derivados da decomposição dos valores singulares dos efeitos de genótipos (G) e da interação (G x L). PC1 indica que a adaptabilidade dos genótipos

é altamente correlacionada com a produtividade, enquanto que PC2 indica a estabilidade fenotípica, ou seja, genótipos com PC2 mais próximos de zero são os mais estáveis (YAN et al., 2000). O primeiro componente representa 55,49% e o segundo 22,34% da variação total dos efeitos de G + (G x L) para o ano de 2016. O primeiro e segundo componente do biplot para o ano de 2017 foram 63,35% e 21,75%, respectivamente. Esta estimativa atende a porcentagem mínima de explicação recomendada por Yan et al. (2000), que é de 70%, além de se mostrar superior a estudos de estratificação ambiental que utilizaram esta metodologia (RAKSHIT et al., 2012; TEODORO et al., 2016).

Foi gerado um polígono que conectou os genótipos que estão mais distantes da origem do biplot (Figura 2). Estes genótipos têm os maiores vetores em cada direção. O comprimento e o sentido do vetor simbolizam a extensão da resposta do genótipo para os ambientes avaliados, ou seja, o tamanho dos vetores e suas respectivas direções estão diretamente relacionados com a adaptabilidade de cada genótipo aos ambientes, dentro do mesmo setor. Para o ano de 2016 (Figura 2a) os vértices do polígono são formados pelos genótipos 11, 7, 12, 2, 5, 10 e 1 enquanto que no ano de 2017 (Figura 2b), os genótipos que formam o polígono são 15, 12, 11, 13, 14, 16, 6 e 17. Todos os outros híbridos contidos dentro do polígono são menos responsivos em relação à interação com os ambientes dentro daquele setor.

As linhas tracejadas que partem da origem do biplot (0, 0) dividem o gráfico em setores. No ano de 2016 é possível observar sete setores, enquanto que 2017 formaram-se oito. Resultados semelhantes foram observados por Gomes et al. (2019) que também observaram oito setores ao avaliar a produtividade de grãos em genótipos de sorgo granífero usando a metodologia GGE biplot.

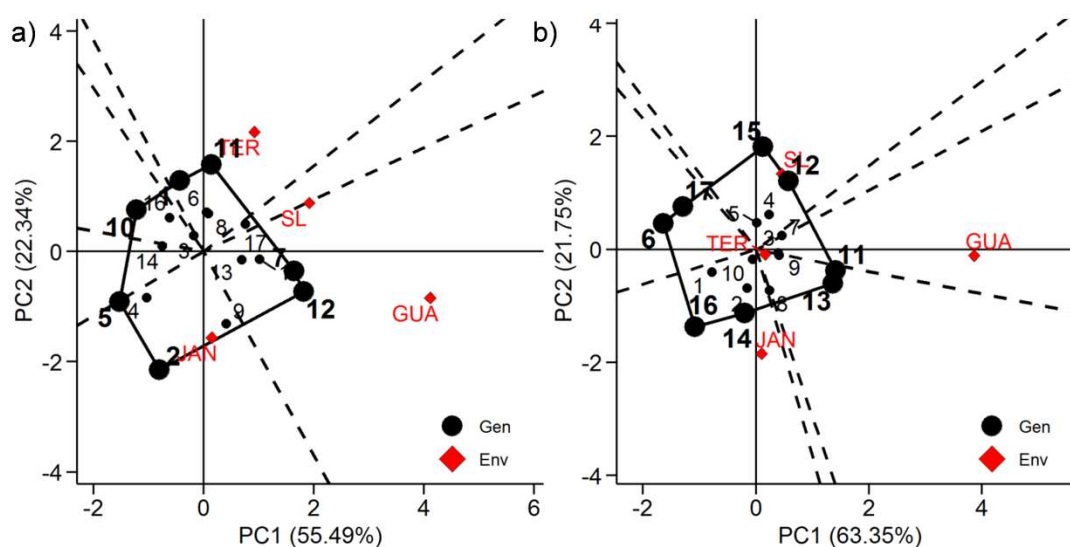
Os mega ambientes são os setores que contém dois ou mais ambientes. Dessa forma, o único mega ambiente formado foi no ano de 2016, em que o método agrupou no mesmo setor os locais Sete Lagoas (SL) e Guaíra (GUA). Teodoro et al. (2016) também identificaram a formação de um mega ambiente entre estes dois municípios ao avaliar produtividade de grãos em sorgo granífero na safra de 2011, reforçando a proximidade existente entre as condições de clima e solo que devem existir nestes dois locais. Assim, apesar de não ter sido observada a formação de mega ambiente entre essas regiões no ano de 2017, entende-se que isso possa ser atribuído aos fatores imprevisíveis que governam a interação entre genótipos e ambientes, como: estresse hídrico, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar ao longo do ciclo da cultura,

dentre outros, uma vez que produtividade de grãos é uma característica de natureza genética complexa e muito influenciada pelo ambiente de cultivo e a interação que existe entre genótipos e ambientes ( $G \times L$ ) é dinâmica (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Os genótipos que formam os vértices do polígono são os mais adaptados para cada setor (YAN; TINKER, 2006). Isso significa que estes genótipos obtiveram a maior produtividade e adaptabilidade, além de estar dentre os melhores nos ambientes restantes que compõem determinado setor (GOMES et al., 2019). De tal forma, os genótipos 7 e 12 se encontram nos vértices deste setor, também estão entre as primeiras quatro maiores médias de produtividade de grãos nestes locais para este ano e assim são os mais adaptados ao mega ambiente formado por SL e GUA.

O setor que representa Teresina (TER) tem o genótipo 11 como o mais favorável neste ambiente, tanto para o ano de 2016 quanto que para o ano de 2017, sendo que no primeiro ano de avaliação este era acompanhado do híbrido 1 e no último do indivíduo 13. O Setor que envolve o município de Janaúba tem como o genótipo mais favorável para o ano de 2016 o indivíduo 2, por sua vez em 2017 os mais favoráveis foram os indivíduos 14 e 16.

Genótipos que compõem um setor que não possui um ambiente são considerados desfavoráveis para os locais avaliados, principalmente quando se trata de produtividade de grãos (KARIMIZADEH et al., 2013; TEODORO et al., 2016). Nesse sentido, estes genótipos possuem alguma adaptação específica e precisam ser avaliados com cuidado para fins de recomendação (TEODORO et al., 2016).



**Figura 4.** Setores e mega ambientes obtidos pelos efeitos principais do genótipo + interação genótipo e ambiente do modelo biplot (GGE) para produtividade de grãos de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guará-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

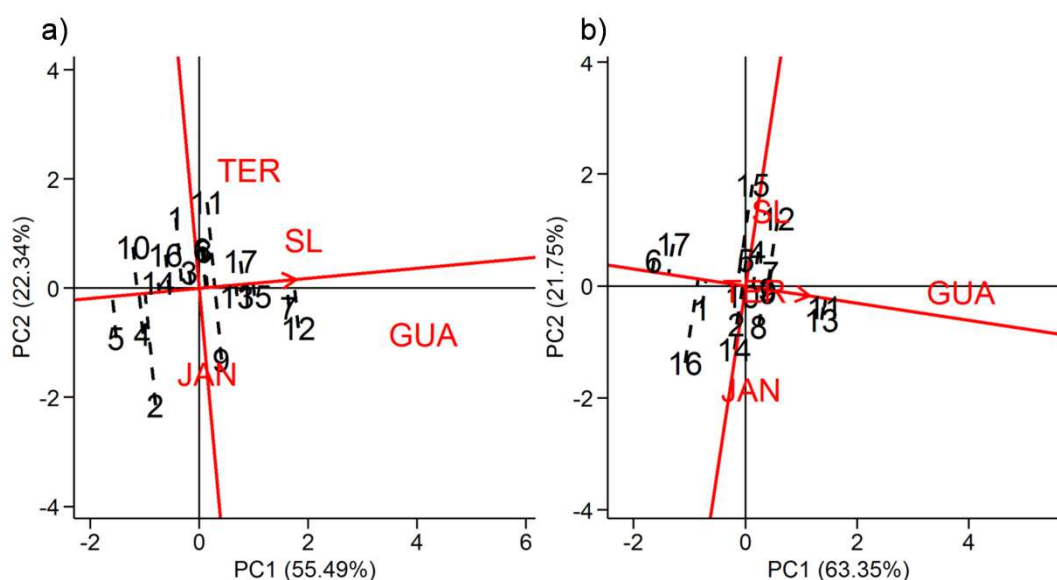
O biplot “média *versus* estabilidade” busca encontrar o genótipo mais estável e com melhor média. As linhas vermelhas que partem da origem do biplot demonstram a média geral (eixo das ordenadas) e o eixo do ambiente médio (eixo das abcissas), sendo traçado em direção à média geral dos ambientes e definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes testados no biplot, representada por uma seta (YAN et al., 2000; YANG et al., 2009). Quanto maior o PC1, mais importante é o efeito do genótipo, conseqüentemente mais significativa é a seleção baseada na média do mesmo (TEODORO et al., 2016). Quanto maior a distância de projeção do híbrido em relação à linha, maior é a sua instabilidade (YAN, 2011).

Sendo assim, os genótipos com melhor média de produtividade e estáveis, são aqueles que estão além da linha vertical que representa a média e que estão próximos da linha horizontal, que representa o ambiente médio. Para o ano de 2016 (figura 3a), estes genótipos foram: 7, 12, 13, 15 e 17. Os genótipos 11 e 9 também são indivíduos acima da média de produtividade, porém são mais instáveis. Os genótipos de menor produtividade em todos os ambientes avaliados neste ano foram 10, 4, 5, 14 e 16, evidenciando, de forma geral, que suas médias em todos os ambientes ficaram abaixo da média geral de cada ambiente. O agrupamento de médias de Scott-knott (Tabela 4) confirma as interpretações observadas no biplot de média *versus* estabilidade, com uma ressalva para o genótipo 2, que foi caracterizado como abaixo da média e instável. Ao

avaliar o agrupamento de médias é possível identificar que, apesar de não ser um genótipo com médias boas para o ambiente de Sete Lagoas, ele está entre as duas melhores médias nos demais ambientes testados no ano de 2016, o que justifica sua instabilidade. Portanto, cuidados devem ser tomados na recomendação deste genótipo.

A maioria dos genótipos que foram identificados como as melhores médias de produtividade no ano de 2016 também são os melhores para o ano de 2017, com algumas exceções. Os genótipos mais estáveis e com melhores médias para este ano são 11 e 13, seguidos de 7, 9 e 8. O genótipo 12, também apresenta uma boa média de produtividade, porém seu comportamento se mostrou mais instável neste ano. Aqueles que apresentaram as piores médias foram 1, 6, 16 e 17, sendo que o 16 é o mais instável dentre estes.

Ao comparar os genótipos avaliados nos dois anos, apenas o 17 apresentou um comportamento discrepante de um ano para outro, ou seja, no ano de 2016 ele foi agrupado entre os indivíduos com as melhores médias, enquanto que no ano seguinte ele estava entre as piores. Os genótipos 7, 12, 13, 9 e 11 estiveram entre aqueles com as melhores médias considerando os dois anos de cultivo, sendo 7 e 13 os mais estáveis dentre estes.



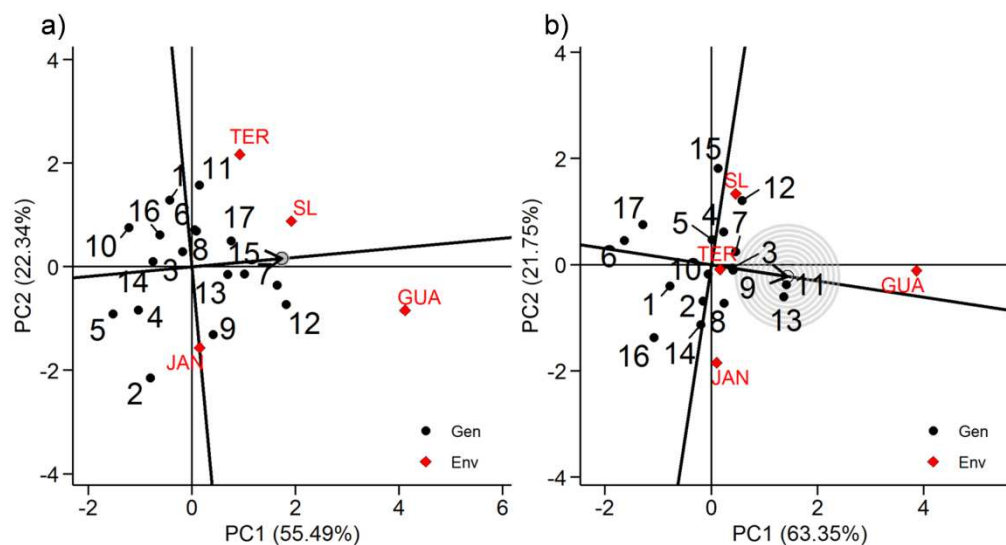
**Figura 5.** Média versus estabilidade de acordo com o modelo biplot GGE para produtividade de grãos de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

**Tabela 4** - Médias de produtividade de grãos de sorgo avaliadas em SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI, nos anos de 2016 e 2017.

Código	Híbridos	2016				2017											
		SL	GUA	JAN	TER	SL	GUA	JAN	TER								
1	1105661	3,96	b	3,55	c	3,49	b	2,92	b	3,55	b	3,67	c	2,88	a	2,55	a
2	1167048	3,64	b	6,28	a	4,85	a	5,01	a	4,05	a	4,32	b	3,43	a	2,81	a
3	1167092	3,88	b	2,98	c	3,21	b	4,13	a	3,82	b	5,01	b	2,68	a	3,11	a
4	1167093	4,17	b	5,34	b	3,76	a	3,28	b	4,01	a	4,83	b	2,27	a	2,63	a
5	1236020	3,91	b	3,65	c	4,30	a	3,17	b	4,25	a	4,51	b	2,57	a	3,03	a
6	1236043	3,56	b	4,51	b	2,62	b	4,10	a	3,50	b	2,67	c	2,16	a	2,85	a
7	1239017	4,78	a	5,92	a	4,63	a	4,50	a	4,45	a	5,02	b	2,90	a	2,65	a
8	1244003	4,57	a	3,98	c	3,83	a	4,34	a	3,63	b	4,86	b	3,14	a	2,55	a
9	1324228	3,85	b	5,09	b	3,61	b	2,85	b	4,51	a	4,92	b	3,22	a	3,20	a
10	1324241	3,74	b	2,72	c	3,40	b	3,94	a	3,91	a	4,47	b	2,89	a	2,70	a
11	1516037	4,50	a	4,03	c	3,04	b	4,73	a	3,70	b	6,23	a	2,81	a	2,71	a
12	1516043	4,53	a	6,52	a	3,45	b	3,60		4,80	a	5,12	b	2,31	a	2,90	a
13	1516049	4,45	a	4,84	b	4,46	a	4,30	a	3,34	b	6,23	a	2,75	a	2,62	a
14	1527039	4,14	b	3,34	c	3,14	b	3,16	b	4,00	a	4,27	b	3,78	a	2,75	a
15	1527052	5,06	a	5,28	b	3,05	b	3,23	b	4,50	a	4,67	b	1,64	a	2,36	a
16	BRS330	3,82	b	3,58	c	2,76	b	3,64	b	2,90	b	3,38	c	3,25	a	2,61	a
17	BRS373	4,50	a	4,87	b	3,89	a	4,56	a	4,22	a	3,00	c	2,43	a	2,44	a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade

A Figura 4 ilustra a posição dos genótipos avaliados em relação à estimativa de um híbrido hipotético ideal para a característica produtividade de grãos nos ambientes testados, para os dois anos. Este híbrido ideal é definido graficamente pelo vetor mais longo em PC1 e PC2 sem projeções, representados por um círculo (YAN; RAJCAN, 2002). Embora este híbrido seja um modelo representativo, ele é usado como referência para a avaliação dos genótipos estudados. Um genótipo é considerado promissor se ele estiver localizado o mais próximo possível do híbrido ideal hipotético. Quanto mais próximo, significa que ele apresenta parâmetros favoráveis de adaptabilidade (responsivos aos ambientes testados) e estabilidade fenotípica (maior previsibilidade de comportamento) (YAN, 2011). Assim o genótipo ideal, em relação à produtividade, dentre os avaliados no ano de 2016 é o híbrido 7, enquanto que para o ano de 2017, tanto o 11 quando 13 podem ser considerados.

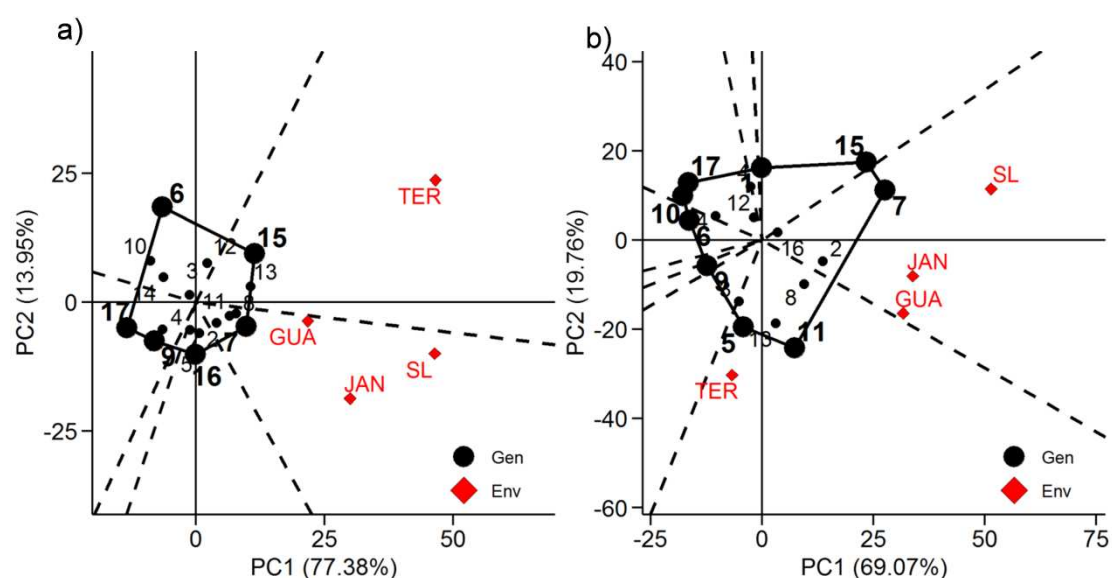


**Figura 6.** Modelo do GGE biplot comparando os híbridos avaliados com a estimativa de um híbrido ideal, para produtividade de grãos de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

O gráfico gerado pelo método GGE biplot para a característica altura de plantas (Figura 5) também apresenta os dois primeiros componentes principais dentro do valor de recomendação (70%) indicado por Yan et al. (2000), sendo viável a formação de mega ambientes por esta metodologia. O biplot é constituído por 6 e 9 setores para os anos de 2016 e 2017, respectivamente. A divisão do gráfico em setores permitiu identificar que o mesmo mega ambiente foi formado para os dois anos de avaliação, composto pelos locais: Janaúba, Sete Lagoas e Guaíra, enquanto que Teresina permaneceu em um setor isolado nos anos de 2016 e 2017. O grupo formado faz todo sentido quando se compara a média das temperaturas de cada município, ficando evidente que o mega ambiente formado é composto por cidades com temperaturas médias próximas umas das outras, enquanto que Teresina fica mais isolada das demais. Vale ressaltar que Sete Lagoas e Guaíra já haviam sido agrupadas na avaliação da produtividade de grãos.

Os genótipos que se localizam nos vértices do polígono formado são aqueles mais responsivos aos ambientes testados, ou seja, apresentam maior adaptabilidade ao local (ou locais) que se encontram neste setor. Dessa forma é possível destacar o híbrido 7 (Figura 5a). Este genótipo é mais adaptado ao mega ambiente formado por SL, GUA e JAN para os dois anos de avaliação. No ano de 2016, o híbrido mais adaptado ao ambiente TER foi 15, enquanto que no ano seguinte os genótipos que se localizavam

nos vértices do polígono que compõe o setor que abrange este local foram os híbridos 5 e 11 (Figura 5b). Nos dois anos de avaliação, os híbridos que se encontravam em setores sem ambientes, ou seja, genótipos desfavoráveis aos locais testados (KARIMIZADEH et al., 2013) foram 1, 4, 6, 9, 10, 12, 14 e 17. Sendo assim, possivelmente estes híbridos apresentam alguma adaptação específica a um ambiente não testado neste trabalho.



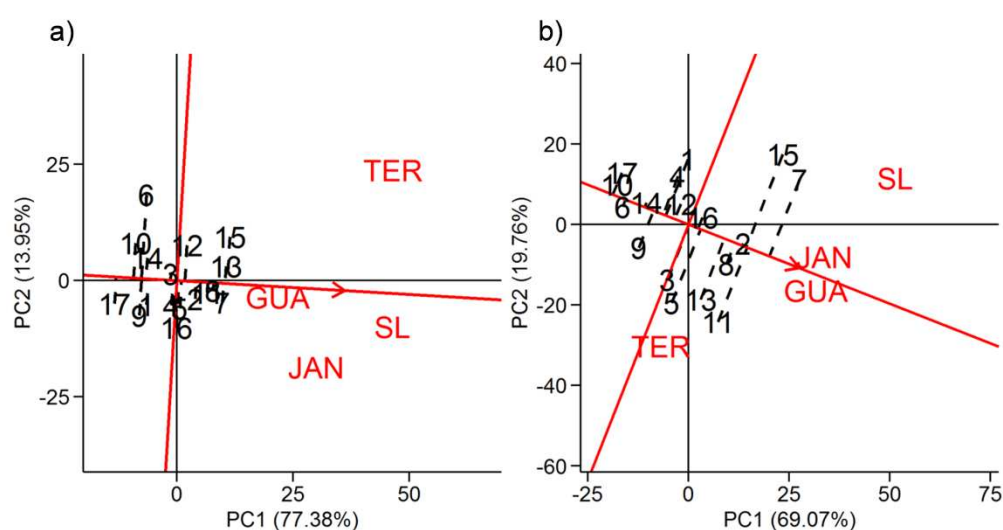
**Figura 7.** Setores e mega ambientes obtidos pelos efeitos principais do genótipo + interação genótipo e ambiente do modelo biplot (GGE) para altura de plantas de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

Altura de plantas em sorgo granífero é uma característica que está positivamente correlacionada com produtividade de grãos. Entretanto uma planta excessivamente alta aumenta as chances de acamamento, devido ao vento próximo do período da colheita e o peso da panícula no momento em que o caule já se encontra seco (MENEZES et al., 2015b; TARDIN et al., 2013). Dessa forma, recomenda-se que plantas apresentem porte médio para evitar que elas acamem e não tenham perdas na produtividade. Altura no intervalo de 1,0 a 1,5 metros é o indicado para híbridos de sorgo granífero, pois além de evitar o acamamento, permite o uso de colhedoras, mecanizando a colheita (MENEZES et al., 2015a; TARDIN et al., 2013).

Assim, ao avaliar o gráfico “média versus estabilidade” (Figura 6), não é mais interessante que os híbridos apresentem médias muito elevadas, como era para produtividade de grãos, pois plantas muito altas podem acarretar os problemas acima

citados. O agrupamento de médias Scott-knott (Tabela 5) evidenciou que poucos híbridos atingiram o limite máximo recomendado de 1,5 metros. Em Sete Lagoas, nos dois anos de avaliação, apenas um indivíduo extrapolou este limite (híbrido 7 em 2016 e híbrido 15 em 2017). Em Guaíba, para os dois anos testados, o híbrido 11 apresentou altura superior a 1,5 metros, acompanhado do híbrido 15 no ano de 2016 e do híbrido 7 para ano seguinte. Por fim, em Teresina no ano 2016, o híbrido 15 superou a altura recomendada. Este genótipo (híbrido 15) foi o único que apresentou valores acima da recomendação em todos dos ambientes acima citados em pelo menos um dos anos. Apesar dessas observações, nenhum ambiente apresentou média geral de altura de plantas superior ao limite máximo de 1,5 metros, como observado na Tabela 2.

Neste sentido os genótipos mais estáveis, ou seja, aqueles que apresentam menor projeção em relação ao eixo das abcissas e com porte de altura entre médio e alto foram 2, 7, 8, 12 e 13 para o ano de 2016 e 2, 8, 13 e 16 em 2017. O comportamento dos genótipos 7 e 15 no ano de 2017, apesar de ter boas médias, apresentaram alta instabilidade. Ao comparar a análise de média vs. estabilidade nos dois anos é possível observar que a avaliação no ano de 2017 evidenciou que os genótipos apresentaram comportamento mais instável neste ano, com projeções maiores quando comparado com 2016. Os genótipos favoráveis para recomendação, por serem estáveis e com boas médias para a característica altura de plantas foram nos dois anos foram 2, 8 e 13. Além disso, o agrupamento de Scott-Knott (Tabela 5) mostra que todos estes genótipos não excedem a altura máxima recomendada.



**Figura 8.** Média versus estabilidade de acordo com o modelo biplot GGE para altura de plantas de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de

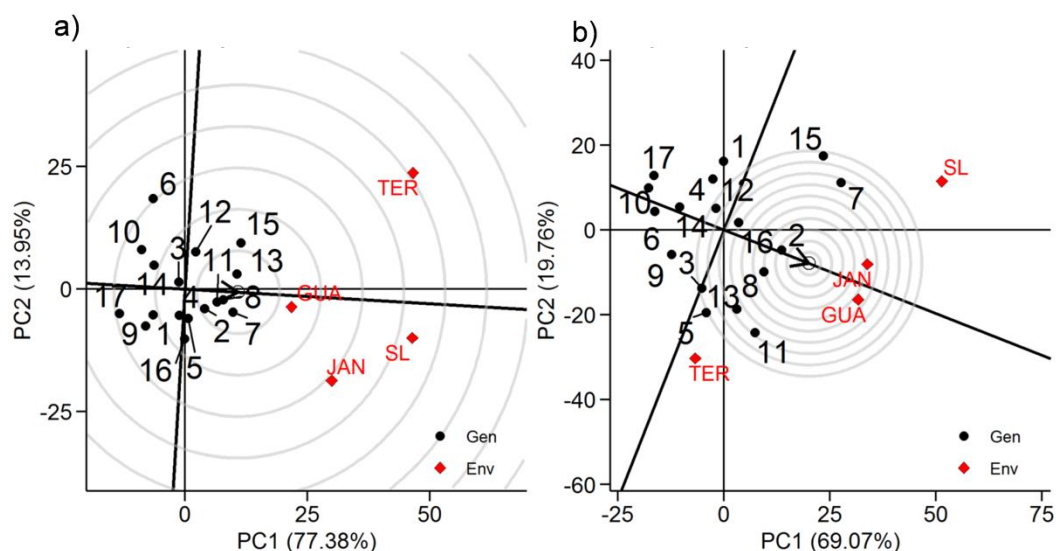
2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

**Tabela 5** - Médias de altura de plantas de sorgo avaliadas em SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI, nos anos de 2016 e 2017.

Código	Híbridos	2016				2017			
		SL	GUA	JAN	TER	SL	GUA	JAN	TER
1	1105661	123,0 d	140,0 c	108,3 a	115,0 b	123,2 c	133,3 b	105,0 b	87,7 a
2	1167048	139,3 c	145,0 b	118,3 a	132,3 a	137,8 b	141,7 b	115,0 a	104,0 a
3	1167092	128,8 d	141,7 b	110,0 a	128,7 b	117,2 c	135,0 b	103,3 b	110,7 a
4	1167093	134,8 c	136,7 c	113,3 a	123,3 b	114,2 d	135,0 b	110,0 a	85,7 a
5	1236020	136,3 c	135,0 c	118,3 a	126,7 b	113,7 d	140,0 b	106,7 b	110,7 a
6	1236043	115,3 e	130,0 c	96,7 b	135,0 a	108,8 d	121,7 c	96,7 c	101,0 a
7	1239017	156,7 a	145,0 b	118,3 a	138,7 a	148,7 a	153,3 a	121,7 a	86,3 a
8	1244003	143,0 b	138,3 c	126,7 a	142,0 a	125,8 c	146,7 a	116,7 a	100,7 a
9	1324228	121,3 e	135,0 c	110,0 a	111,7 b	107,8 d	126,7 c	105,0 b	104,3 a
10	1324241	118,3 e	131,7 c	96,7 b	121,7 b	110,3 d	120,0 c	91,7 c	99,0 a
11	1516037	144,0 b	151,7 a	116,7 a	136,0 a	121,2 c	151,7 a	115,0 a	109,0 a
12	1516043	134,2 c	141,7 b	108,3 a	138,3 a	115,0 d	136,7 b	110,0 a	91,0 a
13	1516049	147,5 b	141,7 b	123,3 a	149,3 a	119,7 c	138,3 b	118,3 a	110,0 a
14	1527039	128,2 d	136,7 c	95,0 b	120,7 b	110,0 d	130,0 c	101,7 b	94,7 a
15	1527052	146,2 b	155,0 a	115,0 a	153,3 a	153,3 a	135,0 b	121,7 a	92,7 a
16	BRS330	134,8 c	146,7 b	116,7 a	120,7 b	125,3 c	138,3 b	108,3 a	97,3 a
17	BRS373	114,3 e	130,0 c	101,7 b	105,0 b	110,0 d	121,7 c	93,3 c	95,0 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade

Os genótipos ideais foram identificados ao comparar os indivíduos avaliados com um híbrido hipotético ideal, representado pela ponta da seta no meio de círculos concêntricos, sendo que quanto mais próximo do centro dos círculos concêntricos, mais promissor é o híbrido em estudo. Ser promissor significa que o genótipo avaliado apresenta parâmetros favoráveis de adaptabilidade, ou seja, é responsivo aos ambientes testados e apresenta estabilidade, havendo assim maior previsibilidade de seu comportamento (YAN, 2011). De tal modo, dentre os genótipos que foram selecionados como os mais recomendados nos dois anos de avaliação (2, 8 e 13), 2 é aquele que se localiza mais próximo do ideal, tanto no ano de 2016 quanto em 2017 (Figura 7), indicando que este apresenta maior capacidade de adaptação nos ambientes de cultivo desta cultura.

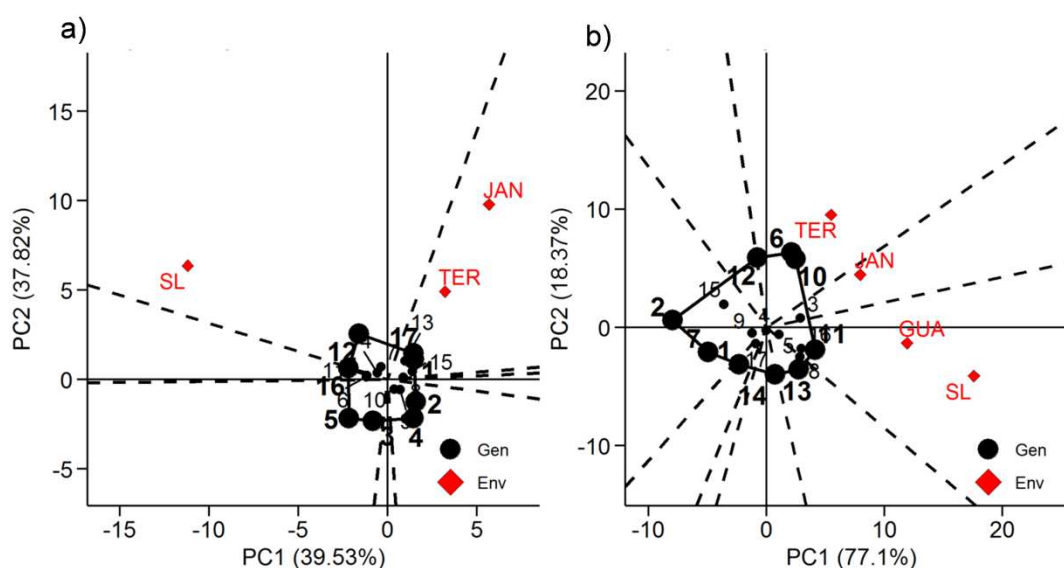


**Figura 9.** Modelo do GGE biplot comparando os híbridos avaliados com a estimativa de um híbrido ideal, para altura de plantas de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

A soma dos componentes principais do gráfico biplot gerado para a característica dias para florescimento também apresentou números acima de 70%, reforçando a alta qualidade das análises realizadas (Figura 8). A estratificação ambiental, representada pelas linhas pontilhadas que formam setores, agrupou os locais JAN e TER em um mega ambiente em 2016 e SL e GUA em 2017. No ano de 2016 SL não se agrupou com nenhuma outra localidade, fato este que ainda não havia sido observado neste ano para todas as outras características avaliadas. Entretanto é importante ressaltar que a avaliação de dias para florescimento neste ano não foi realizada em GUA, e esta normalmente se agrupava com SL. A similaridade existente entre SL e GUA na formação de mega ambientes em todas características envolvidas neste estudo pode ser explicada pelas latitudes próximas, além da média de temperatura ser semelhantes nas duas cidades. Segundo Lin e Binns (1988), o solo e clima são os dois principais elementos de um ambiente que influencia no desempenho de um genótipo. Dessa forma, as características edafoclimáticas similares entre as duas regiões em questão, podem resultar em comportamento semelhante dos genótipos nestes locais.

O híbrido 17 se mostrou o mais adaptado ao mega ambiente formado por JAN e TER no ano de 2016 (Figura 8a). Por sua vez, SL tem o híbrido 12 como o mais adaptado, para o mesmo ano de avaliação. Os genótipos que não apresentaram adaptação específica a nenhum dos ambientes avaliados no ano de 2016 foram 2, 3, 4, 5

e 16. Para o ano seguinte (Figura 8b), o mega ambiente GUA e SL apresenta o híbrido 11 como o mais adaptado, enquanto que para TER, estes são 6 e 10 e em JAN, apesar de nenhum genótipo fazer parte do vértice do polígono, o setor em que se encontra este ambiente é composto apenas pelo híbrido 3. Os genótipos localizados nos vértices de setores que não possuem nenhum ambiente foram 1, 2, 7, 12, 13 e 14. Como tem sido observado nas demais características assim como para florescimento, é interessante ressaltar que nem sempre os genótipos adaptados a um ambiente em um ano de avaliação também será adaptado à mesma região no ano seguinte. Isso acontece, porque a interação existente entre genótipos e ambiente é complexa e dinâmica (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). As condições climáticas em anos diferentes nem sempre são as mesmas e este fato pode fazer com que genótipos tenham respostas diferentes dentro de um mesmo ambiente ao longo dos anos.

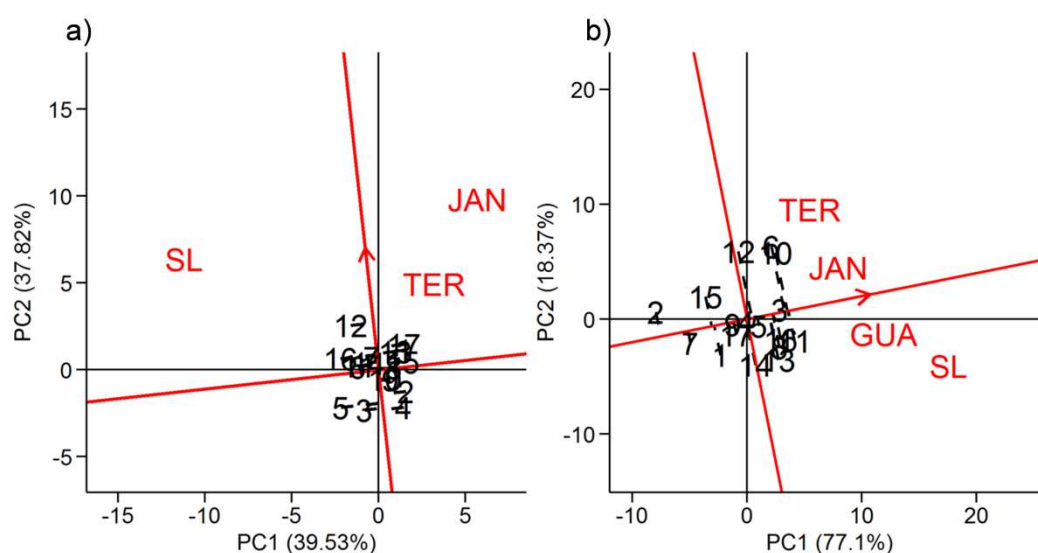


**Figura 10.** Setores e mega ambientes obtidos pelos efeitos principais do genótipo + interação genótipo e ambiente do modelo biplot (GGE) para florescimento de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

Diferente do que se procura quando o objetivo produtividade de grãos, obtenção de maiores médias, ou até mesmo altura de plantas, onde se busca valores intermediários, para dias para florescimento se aplica outra interpretação, onde os melhores indivíduos são aqueles que apresentam as menores médias. É recomendável que as plantas que apresentem valores menores de dias para o florescimento no plantio

de sorgo granífero durante a safrinha, pois quanto antes a planta consiga completar seu ciclo, maior chance ela terá de escapar do período seco (MENEZES et al., 2015b).

Ao avaliar o gráfico “média *versus* estabilidade” (Figura 9), os genótipos que se localizam próximo à seta vermelha são aqueles que apresentam as maiores médias, o que não é desejável para a característica em questão. Dessa forma, os genótipos ideais são aqueles que se localizam do lado oposto ao crescimento da média e que não apresentam projeções elevadas, sendo assim mais estáveis. Assim, no ano de 2016 (Figura 9a) os genótipos com menores médias e que apresentaram boa estabilidade aos ambientes testados foram 2, 3, 4, 5, 9 e 10, em que os dois últimos também são os mais estáveis entre os recomendados. No ano seguinte (Figura 9b), 1, 2, 7, 9, 15 e 17 foram os híbridos com as menores médias de florescimento, além de serem estáveis.



**Figura 11.** Média versus estabilidade de acordo com o modelo biplot GGE, para florescimento de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

Além disso, é possível observar na Tabela 6 que os híbridos em comum recomendados nos dois anos, o híbrido 2 e 9, apresentaram médias iguais ou inferiores a 60 dias para florescimento em quase todos os locais nos dois anos de avaliação. Entretanto, todos os híbridos recomendados, e a maioria dos genótipos avaliados neste estudo, não excederam 70 dias de florescimento, o que ainda é considerado como plantas de ciclo precoce. Na localidade de Sete Lagoas (SL) no ano de 2017 foram observados genótipos mais tardios, os quais ultrapassaram 70 dias para o florescimento. Em geral, SL apresentou a média mais alta de florescimento entre todos os ambientes e

anos avaliados, de forma que apenas o híbrido 2 apresentou valores inferiores a 60 dias para essa característica.

**Tabela 6** - Médias de florescimento de sorgo avaliadas em SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíba-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI, nos anos de 2016 e 2017.

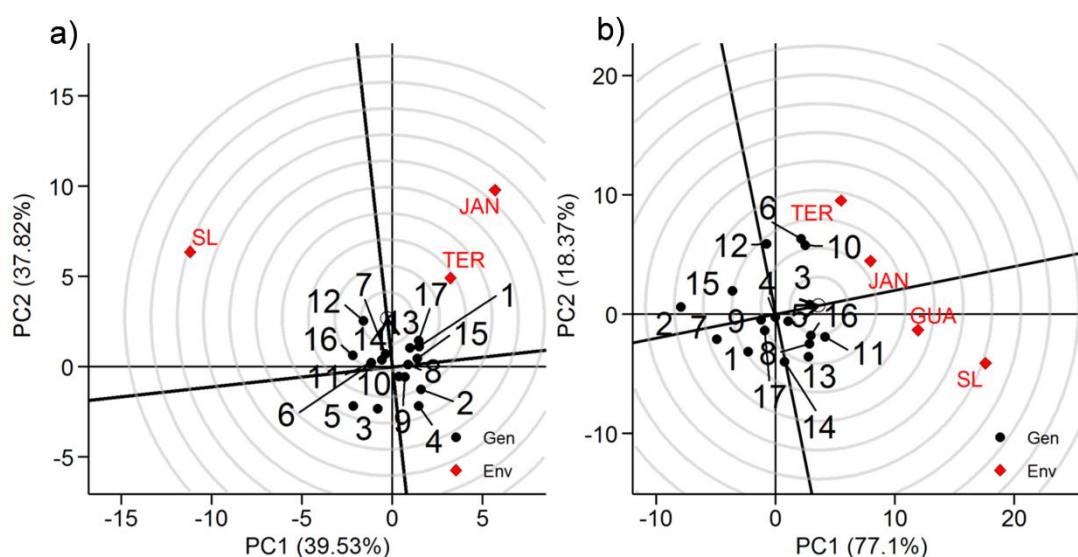
Código	Híbridos	2016				2017									
		SL	JAN	TER		SL	GUA	JAN	TER						
1	1105661	57,3	c	58,7	c	55,7	c	63,0	c	63,3	b	59,3	c	52,0	d
2	1167048	53,3	d	53,3	d	54,0	c	56,0	e	65,7	a	56,7	d	53,0	d
3	1167092	60,7	b	62,3	b	58,3	b	70,3	a	65,3	a	62,7	b	58,0	b
4	1167093	57,7	c	60,0	c	57,7	b	65,3	c	65,7	a	60,7	c	55,7	c
5	1236020	58,3	c	61,3	c	56,3	c	67,7	b	64,7	b	60,0	c	56,7	c
6	1236043	64,3	a	65,7	a	61,3	a	67,3	b	59,7	c	64,7	a	61,3	a
7	1239017	54,3	d	54,3	d	51,3	d	60,3	d	66,0	a	56,7	d	52,7	d
8	1244003	61,0	b	60,3	c	56,7	c	71,3	a	63,3	b	61,3	b	55,7	c
9	1324228	57,3	c	59,0	c	55,7	c	64,3	c	67,0	a	60,0	c	55,0	c
10	1324241	61,7	b	63,3	b	62,3	a	66,7	b	67,0	a	65,0	a	60,7	a
11	1516037	60,7	b	63,3	b	56,0	c	73,0	a	62,7	b	62,3	b	56,7	c
12	1516043	57,7	c	62,3	b	58,3	b	63,3	c	65,7	a	62,3	b	60,0	a
13	1516049	58,0	c	60,0	c	54,7	c	71,7	a	66,0	a	61,3	b	54,7	c
14	1527039	61,7	b	61,3	c	55,3	c	67,7	b	59,7	c	60,3	c	53,0	d
15	1527052	57,0	c	60,0	c	55,0	c	61,7	c	66,3	a	57,7	d	57,0	c
16	BRS330	65,3	a	61,0	c	54,7	c	71,0	a	64,0	b	62,0	b	56,0	c
17	BRS373	56,7	c	59,0	c	56,3	c	64,7	c	61,0	c	60,7	c	54,0	d

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade

É importante que exista uma variação de alguns dias de florescimento entre híbridos de sorgo para possibilitar o plantio e colheita escalonados, pois como observado, os mesmos podem se comportar de maneira diferente em vários ambientes, podendo diferenciar o ciclo em função das diferentes épocas de semeadura (ALMEIDA FILHO et al., 2014; TARDIN et al., 2013). Dado que a maioria dos híbridos são de ciclo precoce, a seleção de indivíduos superiores torna-se mais prática, pois flexibiliza a escolha dos melhores indivíduos visando as demais características.

O híbrido hipotético ideal gerado pelo método GGE biplot evidenciado pela ponta da seta no centro dos círculos concêntricos é aquele que apresenta as melhores estimativas. Porém, como visto no caso de dias para florescimento, o interesse é a diminuição do valor da característica. Sendo assim, os híbridos ideais para florescimento avaliados neste trabalho são aqueles que mais se distanciam do genótipo

hipotético. Portanto, aqueles que apresentam as menores médias, indicados na Figura 9 foram os que mais se distanciaram da estimativa de um híbrido ideal (Figura 10).



**Figura 12.** Modelo do GGE biplot comparando os híbridos avaliados com a estimativa de um híbrido ideal, para florescimento de 17 genótipos de sorgo avaliados em quatro ambientes durante os anos de 2016 (a) e 2017 (b). SL: Sete Lagoas-MG; GUA: Guaíra-SP; JAN: Janaúba-MG; TER: Teresina-PI.

Ao combinar as análises da metodologia GGE biplot e o agrupamento de médias para as três características estudadas em busca de um híbrido que se destaque em todos os locais e anos avaliados, pode-se destacar o híbrido 13. Este genótipo esteve entre os melhores para produtividade de grãos, nos dois anos de avaliação e em todos ambientes, além de ter altura desejada em todos os locais de avaliação para os dois anos de teste. Para florescimento, o híbrido 13 não se destacou como um dos mais precoces, porém, com exceção de Sete Lagoas em 2017, em que o mesmo apresentou média de 71,3 dias para florescimento, este genótipo ainda é considerado aceitável para uma planta de ciclo intermediário. O mesmo raciocínio vale para os híbridos 7 e 11. Estes são produtivos, porém excedem a altura recomendada em poucos centímetros em alguns ambientes avaliados. Quanto ao florescimento estes dois híbridos apenas extrapolam os 70 dias para o a localidade de Sete Lagoas, que por si só já apresenta uma alta média de dias para florescimento.

## 6. Conclusão

A análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método GGE biplot permitiu identificar a existência de um mega ambiente consistente composto por Sete Lagoas e Guaíra, para todas as características avaliadas. Além disso, para altura de plantas, a cidade de Janaúba também compreende o mega ambiente acima citado. Em relação a variável dias para florescimento, no ano de 2016 também foi formado um mega ambiente entre Janaúba e Teresina.

Foram identificadas adaptações específicas de alguns genótipos para cada característica nos dois anos de avaliação. No ano de 2016, para produtividade de grãos, os mais adaptados ao mega ambiente Sete Lagoas e Guaíra foram os híbridos 7 e 12, para Teresina, os híbridos 1 e 11 e para Janaúba o híbrido 2. Para a característica altura de plantas, o mega ambiente formado por Sete Lagoas, Guaíra e Janaúba tem o híbrido 7 como o mais adaptado e em Teresina, o híbrido 15. Na avaliação de dias para florescimento, Sete Lagoas tem o híbrido 12 como o mais adaptado a sua região, enquanto que o mega ambiente formado por Janaúba e Teresina quem merece destaque é o híbrido 17.

Para ano de 2017 os híbridos mais adaptados para produtividade de grãos foram 12 e 15 para Sete Lagoas, 11 e 13 para Teresina e 14 e 16 para Janaúba. Nenhum híbrido apresentou adaptação específica a Guaíra neste ano de avaliação para esta característica. Para altura de plantas, o mega ambiente formado por Sete Lagoas, Guaíra e Janaúba apresentou o híbrido 7 como mais adaptado, enquanto que em Teresina estes são representados pelos híbridos 5 e 11. Os mais adaptados na avaliação de dias para florescimento neste ano para Teresina são os híbridos 6 e 10, já o mega ambiente formado por Sete Lagoas e Guaíra apresenta o híbrido 11. Janaúba não apresentou nenhum híbrido com adaptação específica para esta característica no ano de 2017.

Os mais estáveis para produtividade de grãos nos dois anos de avaliação foram os híbridos 7 e 13. Para altura de plantas, 2, 8 e 13 enquanto que para florescimento os que apresentaram maior estabilidade em ambos os anos foram os híbridos 2 e 9.

Visando a recomendação de genótipos, o híbrido que reúne o máximo possível das características de interesse e apresente boa estabilidade em todos ambientes

avaliados nos anos de 2016 e 2017 pode ser exemplificado pelo indivíduo 13. Os híbridos 7 e 11 também são uma boa recomendação.

## Referências Bibliográficas

AKATA, E. A. et al. Combining ability and heterotic pattern in West African sorghum landraces. **African Crop Science Journal**, v. 25, n. 4, p. 491–508, 2017.

ALMEIDA FILHO, J. E. DE et al. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero em diferentes regiões produtoras do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 82–95, 2014.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, 2004.

BERNARDO, R. Genomewide selection with minimal crossing in self-pollinated crops. **Crop Science**, v. 50, n. 2, p. 624–627, 2010.

BERNARDO, R.; YU, J. Prospects for genomewide selection for quantitative traits in maize. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 1082–1090, 2007.

BUTLER, D. et al. **Analysis of Mixed Models for S-language Environments: ASReml–R Reference Manual**. Queensland: Queensland Government, 2009.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Brasília: [s.n.]. v. 1

CONAB. Volume 7 – Safra 2019 / 2020 Brasília , 2019. **Perspectivas para a agropecuária**, v. 7, p. 102, 2019a.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 5, n. 4, p. 1–113, 2019b.

COSTA, A. F. et al. Adaptability and stability of strawberry cultivars using a mixed model. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 37, n. 4, p. 435–440, 2015.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 11 jul. 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. [s.l.] Viçosa, MG: UFV, 2014.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Coarse grains**.

GASURA, E.; SETIMELA, P. S.; SOUTA, C. M. Evaluation of the performance of sorghum genotypes using GGE biplot. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 6, p. 1205–1214, 2015.

- GBEGBELEGBE, S. et al. Baseline simulation for global wheat production with CIMMYT mega-environment specific cultivars. **Field Crops Research**, v. 202, p. 122–135, 2017.
- GOMES, L. R. DA R. et al. Performance agronômica de híbridos de sorgo granífero estimada pelo método GGE biplot. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 5, p. 42–56, 2019.
- GONZÁLEZ BARRIOS, P.; DÍAZ-GARCÍA, L.; GUTIÉRREZ, L. Mega-Environmental Design: using genotype by environment interaction to optimize resources for cultivar testing. **Crop Science**, 2019.
- KARIMIZADEH, R. et al. GGE Biplot Analysis of Yield Stability in Multi-environment Trials of Lentil Genotypes under Rainfed Condition. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 5, n. 2, p. 256–262, 2013.
- KRISHNAMURTHY, S. L. et al. Identification of mega-environments and rice genotypes for general and specific adaptation to saline and alkaline stresses in India. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–14, 2017.
- KURASCH, A. K. et al. Identification of mega-environments in Europe and effect of allelic variation at maturity E loci on adaptation of European soybean. **Plant, cell & environment**, v. 40, n. 5, p. 765–778, 2017.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A Superiority Measure of Cultivar Performance for Cultivar × Location Data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 1, p. 193–198, 1988.
- MARTINS, S. et al. Adaptability and stability of grain sorghum hybrids in Southwest of Goias. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 1984–2538, p. 334–347, 2016.
- MENEZES, C. B. et al. Selection of sorghum hybrids grown under aluminum saturation. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 5964–5973, 2014a.
- MENEZES, C. B. et al. Combining ability of grain sorghum lines selected for Aluminum tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 1, p. 42–48, 2014b.
- MENEZES, C. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 101–115, 2015a.
- MENEZES, C. B. DE et al. Capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero cultivados em segunda safra. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 127, Embrapa Milho e Sorgo**, 2015b.
- MILLET, E. J. et al. Genomic prediction of maize yield across European environmental conditions. **Nature genetics**, v. 51, n. 6, p. 952–956, 2019.
- MINDAYE, T. T. et al. Heterosis in locally adapted sorghum genotypes and potential of hybrids for increased productivity in contrasting environments in Ethiopia. **The Crop Journal**, v. 4, n. 6, p. 479–489, 2016.
- PACKER, D. J.; ROONEY, W. L. A comparison of inbred line and F1 testers for evaluating sorghum experimental lines in testcrosses. **Field Crops Research**, v. 123, n. 1, p. 47–50, 2011.

- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: [s.n.].
- RAKSHIT, S. et al. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. **Euphytica**, v. 185, n. 3, p. 465–479, 2012.
- REDDY, B. V. S.; RAMESH, S.; ORTIZ, R. Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in sorghum. **Plant Breeding Reviews**, v. 25, p. 139–172, 2005.
- RESENDE, M. D. V. DE; THOMPSON, R. Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 22, n. 2, p. 31–52, 2004.
- RIBAS, P. M. Sorgo: introdução e importância econômica. **Embrapa Milho e Sorgo- Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.
- RIBAS, P. M. et al. Eficiência da cadeia produtiva do sorgo. In: **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. [s.l.: s.n.]. p. 72–87.
- RIBEIRO, P. C. DE O. et al. Híbridos triplos Antracnose do Sorgo sob Controle. **Campo E Negócios Grãos**, v. 220, n. 2359–5329, p. 20–23, [s.d.].
- ROONEY, W. **Sorghum Improvement—Integrating Traditional and New Technology to Produce Improved Genotypes**. [s.l.: s.n.]. v. 83
- ROONEY, W. L. et al. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, n. 2, p. 147–157, 2007.
- SCHAFFERT, R. E. et al. Phenotyping sorghum for adaptation to drought. In: **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. México, DF: CGIAR: CIMMYT, 2011. p. 287–299.
- SILVA, A. F. et al. Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança. p. 67, 2015.
- SILVA, K. J. DA et al. Selection of sorghum hybrids cultivated in summer in three locations. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1676– 689X, p. 44–53, 2013.
- SINGH, V. et al. Sorghum genotypes differ in high temperature responses for seed set. **Field Crops Research**, v. 171, p. 32–40, 2015.
- SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. **Sorghum: Origin, history, technology, and production**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2000. v. 2
- TARDIN, F. D. et al. Avaliação Agronômica de Híbridos de Sorgo Granífero Cultivados Sob Irrigação e Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 102–117, 2013.
- TEAM, R. D. C. **R: A language and development for statistical computing**, 2014.
- TEODORO, P. E. et al. Identification of sorghum hybrids with high phenotypic stability using GGE biplot methodology. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, p. 1–8, 2016.
- VELAZCO, J. G. et al. Combining pedigree and genomic information to improve prediction quality: an example in sorghum. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 132, n. 7, p. 2055–2067, 2019a.

VELAZCO, J. G. et al. Genomic prediction of grain yield and drought-adaptation capacity in sorghum is enhanced by multi-trait analysis. **Frontiers in plant science**, v. 10, 2019b.

YAN, W. et al. Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p. 597–605, 2000.

YAN, W. GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, v. 65, n. 2, p. 181–193, 2011.

YAN, W.; RAJCAN, I. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science**, v. 42, n. 1, p. 11–20, 2002.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623–645, 2006.

YANG, R. et al. Biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction: Proceed with caution. **Crop Science**, v. 49, n. 5, p. 1564–1576, 2009.