http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index
DOI: 10.5747/ca.2019.v15.n5.a322
ISSN on-line 1809-8215

Colloquium Agrariae

Submetido:26/11/2018 Revisado: 31/08/2019 Aceito:06/09/2019

Performance agronômica de híbridos de sorgo granífero estimada pelo método GGE biplot

Ludmilla Ribeiro da Rocha Gomes[1], Michel Mathaus Martins Pereira[1], Cícero Beserra de Menezes[2], Gustavo André Simon[1], Flávio Dessaune Tardin[2], Milton José Cardoso[3]

[1]Universidade de Rio Verde – UniRV, Rio Verde, GO. [2]Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. [3]Embrapa Meio Norte, Teresina, PI. E-mail: simon@unirv.edu.br

Resumo

Uma grande vantagem do sorgo é sua característica xerófita, o que lhe atribui um potencial, como sucessão às culturas de verão, na produção de grãos, sendo fundamental a utilização de híbridos adaptados aos diferentes ambientes de cultivo. Assim, o objetivo deste trabalho foi gerar parâmetros a respeito da capacidade adaptativa de híbridos de sorgo granífero pelo método GGE biplot. Os ensaios foram conduzidos, na safrinha de 2017, em sistema de plantio direto, em quatro ambientes, Rio Verde, Sete Lagoas, Teresina e Sinop. Todos os ensaios foram conduzidos, no delineamento em blocos casualizados, com três repetições e trinta e seis híbridos. Foram avaliadas as características: florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos às análises de variância individuais e conjunta, aplicado posteriormente o critério de agrupamento de Scott-Knott e estimados os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Os híbridos promissores quanto às características avaliadas e em função dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade foram 1610001, 1610006,1610051 e o 1G100.
Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; adaptabilidade; estabilidade; melhoramento de plantas.

Agronomic performance of granifero sorghum hybrids estimated by GGE Biplot method

Abstract

A great advantage of sorghum it its xerophytic characteristics, which gives the potential, as a succession to summer crops in grain production. Therefore, it is fundamental to choose cultivars adapted and productive to different growing conditions. The objective of this study was to provide information about adaptive capacity of sorghum hybrids by the GGE biplot method. The trials were conducted, in 2017 as a second crop, no-tillage system, in four environments: Rio Verde, Sete Lagoas, Teresina and Sinop. All trials were conducted in a randomized complete block design with three replicates and thirty-six hybrids. The characteristics of flowering, plant height and grain yield were evaluated. It was realized individual and joint analyses of variance, after applied Scott-Knott grouping criterion and estimated the parameters of adaptability and stability. Promising hybrids for the characteristics evaluated and according to the adaptability and stability parameters were 1610001, 1610006, 1610051 and 1G100.
Keywords: *Sorghum bicolor*; adaptability; stasbility; plant breeding.

Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) está entre os cinco cereais mais produzidos no mundo. A produção brasileira é de aproximadamente 2,1 milhões de toneladas, em área cultivada de aproximadamente 782,2 mil hectares, sendo Goiás o maior produtor de sorgo do Brasil, com produção de 793,3 mil toneladas (CONAB, 2018). A importância desta cultura está relacionada com o potencial de utilização sendo empregada na produção de ração animal, forragem para animais, produção de vassoura, etanol, alimentação humana, produção de farinha para panificação e amido industrial (QUEIROZ *et al.*, 2014).

As grandes vantagens desta cultura são suas características xerófitas, que lhe atribui um potencial como sucessão a culturas de verão, na produção de grãos, especialmente a soja. Pois neste período ocorre a segunda safra, em que a frequência das chuvas é menos frequente. Sendo assim, é fundamental a escolha de cultivares adaptadas, produtivas e com valor agregado a diferentes condições de cultivo (FREITAS *et al.*, 2009).

Os programas de melhoramento genético de sorgo desenvolvem um número significativo de linhagens homozigotas e, a partir dos cruzamentos entre elas, são gerados vários híbridos experimentais. O estudo sobre o desempenho dos híbridos em vários locais e a dinâmica da interação genótipos por ambientes é de extrema importância, de forma a selecionar aqueles mais adaptados e estáveis, principalmente às condições de estresse hídrico, viabilizando o cultivo em regiões com limitações na ocorrência de precipitação, como nas regiões de clima semiárido ou no centro-oeste e sudeste, em períodos de segunda safra (MENEZES *et al.*, 2015).

Apesar de ser relevante no melhoramento genético, os componentes da interação genótipos por ambientes, informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo influenciado pelas variações ambientais é possível empregando análises de adaptabilidade e estabilidade. O parâmetro de adaptabilidade refere-se à magnitude da responsividade dos genótipos em função do estímulo do ambiente e o parâmetro de estabilidade permite identificar aqueles que apresentam comportamento previsível (CRUZ *et al.*, 2014).

Para auxiliar a seleção de híbridos estáveis e com ampla adaptação foram desenvolvidas várias metodologias para a estimação de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, entre eles o modelo GGE biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction), que considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipos e ambientes (YAN *et al.*, 2000).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi gerar informações a respeito da capacidade adaptativa de híbridos de sorgo granífero nas diferentes condições de ambiente de cultivo.

Material e Métodos

Os ensaios foram conduzidos na safrinha de 2017, em sistema de plantio direto, em quatro estados. Na área experimental da Universidade de Rio Verde, no município de Rio Verde – GO (871m de altitude, 17°47’14’’ S e 50°57’38’’ O), com solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, o clima para a localidade é do tipo Aw, que recebe o nome de clima tropical com estação seca, caracterizado por apresentar chuvas mais intensas no verão em comparação ao inverno.

Na estação experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas – MG (767 m de altitude, 19º 27' 57'' S e 44º 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 Agrossilvipastoril em Sinop – MT (384m de altitude, 11°52’27’’ S e 55°30’22’’ O), solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, clima do tipo Aw, tropical. A classificação do solo estabelecida segundo EMBRAPA (2013) e o clima conforme classificação de Köppen e dados climáticos apresentados na Figura 1.

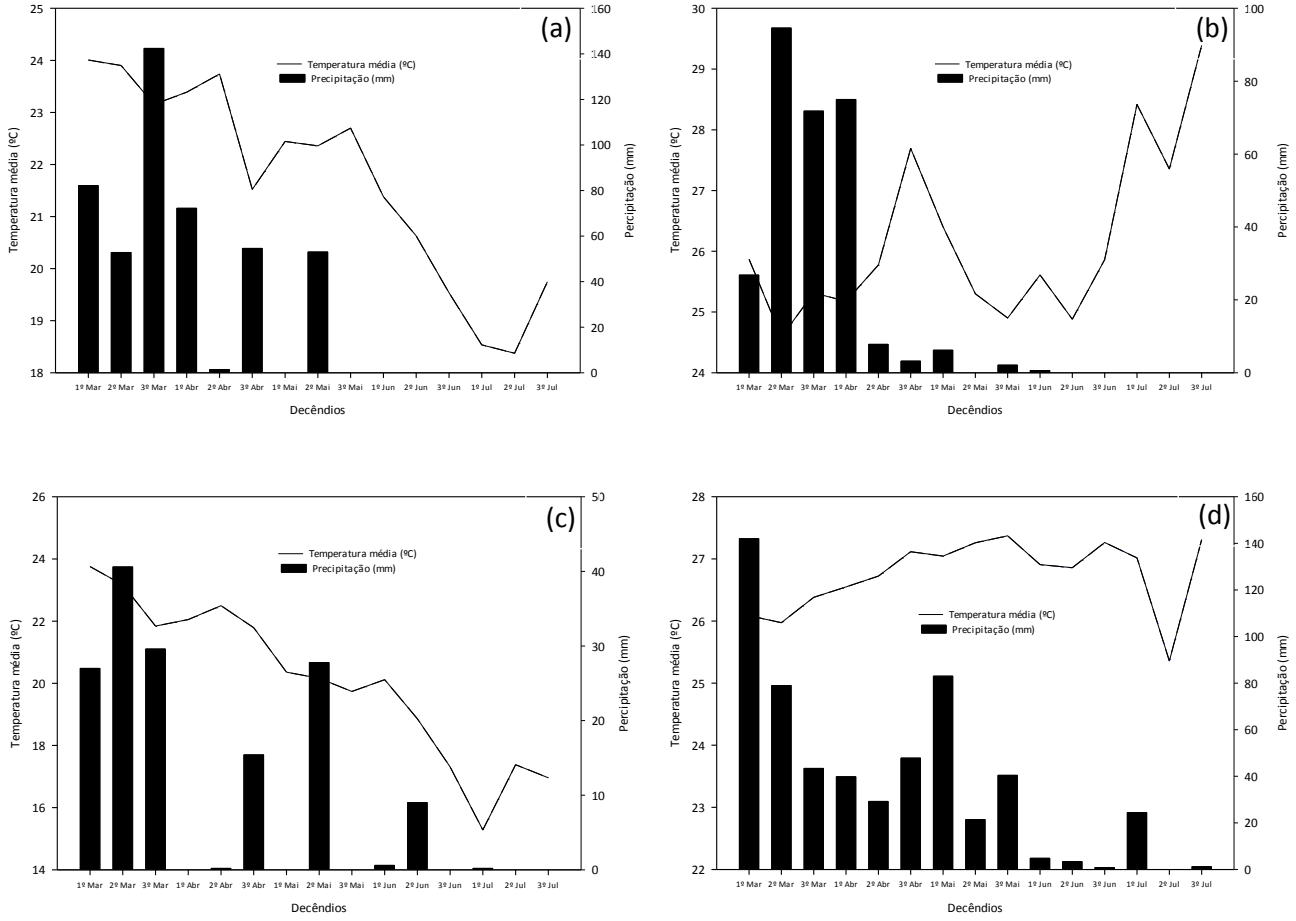
Foi empregado em todos os experimentos, o delineamento experimental em blocos casualizados, e três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 5 metros de comprimento, espaçadas por 0,50 metros entre si, e a área útil foi composta pelas duas fileiras centrais, desprezando 0,5 metros das extremidades.

Os experimentos foram constituídos por trinta e seis híbridos de sorgo granífero, entre eles trinta e um experimentais, desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo (1516045, 1610009, 1516053, 1619044, 1610023, 1610033, 1610039, 1528039, 1527025, 1610043, 1516047, 1610049, 1610055, 1610037, 1516035, 1610041, 1610029, 1610011, 1516033, 1421020, 1527019, 1420038, 1610006, 1610001, 1610027, 1516051, 1528025, 1420020, 1610051, 1621043 e 1516049) e cinco

híbridos comerciais utilizados como testemunha (BRS373, BRS330, 1G220, 1G100 e Fox).

O plantio manual dos experimentos ocorreu em março de 2017, sendo no dia dois em Rio Verde, nove em Sete Lagoas, seis em Sinop e quatorze em Teresina. 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 de 2017, sendo em Rio Verde e Sinop no dia doze, Sete Lagoas no dia vinte e oito e Teresina no dia vinte e cinco.

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar em Rio Verde (a), Sinop (b), Sete Lagoas (c) e Teresina (d) durante a safrinha de 2017. Fonte: Estações automáticas INMET.



As características avaliadas foram: a) 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; b) Altura de planta, medindo-se em centímetros da superfície do solo ao ápice da panícula, considerando amostra de dez plantas por parcela; c) 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.

Os dados de todas as características avaliadas foram submetidos à análise de variância individual, por ambiente, sendo constatada a homogeneidade das variâncias residuais, permitindo assim, a realização da análise de variância conjunta dos ensaios.

Para a realização das análises de variância, foi considerado como fixo o efeito de híbridos e as demais fontes de variação como aleatórias. A análise de variância individual foi realizada segundo o modelo: $Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$, sendo, Y_{ij}: valor da determinada característica observada na parcela que recebeu o genótipo i, alocado no bloco j; μ: constante geral; G_i: efeito fixo do i-

ésimo genótipo; B_j: efeito aleatório do j-ésimo bloco; ε_{ij}: efeito aleatório do erro experimental observado na parcela ij; ε_{ij}~ NID (0, σ^2).

O modelo estatístico adotado para análise de variância conjunta, considerando todos os experimentos, foi: $Y_{ijk}= \mu + B_k(A_j) + G_i + A_j + G_iA_j + \varepsilon_{ijk}$; sendo, $B_k(A_j)$: o efeito aleatório do bloco k no ambiente j; A_j: o efeito aleatório do j-ésimo ambiente; G_iA_j: efeito aleatório da interação entre o genótipo i com o ambiente j e ε_{ijk}: o efeito aleatório do erro experimental observado na parcela $_{ijk}$; ε_{ij}~ NID (0, σ^2). 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). Posteriormente, os dados de produtividade de grãos foram submetidos à análise de adaptabilidade e estabilidade usando a metodologia GGE biplot (YAN, 2000).

O modelo biplot GGE utilizado foi: $Y_{ij} - \mu - \beta_j = y_1 \varepsilon i_1 \rho j_1 + y_2 \varepsilon i \rho j_2 + \varepsilon_{ij,}$ sendo Y_{ij}: o rendimento médio de grãos do genótipo i no ambiente j; μ: a média geral de observações; β_j: o principal efeito do meio ambiente; y_1 e y_2 são os erros associados ao primeiro (PC1) e ao segundo componente principal (PC2), respectivamente; ε_1 e ε_2: os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o genótipo da ordem i; ρ_{j1} e ρ_{j2}: são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o ambiente de ordem j; ε_{ij}: é o erro associado ao modelo de o i-th genótipo e j-th ambiente (YAN *et al.*, 2000).

Resultados e Discussão

Observa-se que houve diferença significativa entre ambientes e híbridos e ocorreu interação híbridos x ambientes significativa para todas as características avaliadas (Tabela 1). A significância entre ambientes x híbridos demonstra que há variabilidade genética e fenotípica, entre os híbridos testados, as quais influenciaram no comportamento diferencial dos híbridos em função dos ambientes testados. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva *et al.* (2009), que também observaram efeito significativo, para híbridos, ambientes e interação para todas essas características.

O coeficiente de variação foi satisfatório para a maioria das características avaliadas, observando valores baixos, conforme a classificação de Pimentel Gomes (2009), que demonstra haver alta precisão experimental nos resultados obtidos.

O florescimento em Rio Verde variou de 62 dias (1610051) até 74 dias (1528025), em Sinop de 52 dias (1421020, 1516035 e 1516045) até 64 dias (1G220), em Sete Lagoas de 62 dias (FOX) até 76 dias (1610029) e em Teresina de 52 dias (1516045 e 1516053) até 64 dias (1G220) (Tabela 2).

Os híbridos 1516035 e 1516053 foram os que tiveram o período de florescimento inferior aos demais, na maioria dos ambientes, não diferindo das testemunhas comerciais 1G100 e FOX e apresentando ciclo mais precoce. Já o híbrido 1420020 e a testemunha BRS373 apresentaram maior média de florescimento em todos os ambientes, característica que geralmente está correlacionada com maiores produtividades de grãos em período de cultivo favorável para a cultura (ZANATTO *et al.*, 2016).

Os híbridos podem se comportar de maneira diferente em vários ambientes, podendo diferenciar o ciclo em função das diferentes épocas de semeadura. Por isso, a importância de existir genótipos, com diferentes períodos de florescimento disponíveis para o agricultor, minimizando riscos à cultura e favorecendo o escalonamento da colheita (ALMEIDA FILHO *et al.*, 2014).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em quatro ambientes: Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI, na segunda safra de 2017 com 36 combinações híbridas.

FV	GL	Quadrados Médios		
		FL (dias)	AP (cm)	PROD (t ha^{-1})
Bloco (ambiente)	8	4,10	90,83	2,98
Ambiente	3	4677,71 *	71595,29 **	60,88 **
Híbrido	35	56,82**	1386,95 **	11,94 **
Ambiente x Híbrido	105	23,06**	144,23 **	1,44 *
Híbrido (RV)	35	22,92 *	378,07 **	4,51 **
Híbrido (Sinop)	35	31,90 **	614,69 **	3,42 **
Híbrido (SL)	35	39,30 **	637,54 **	5,38 **
Híbrido (Teresina)	35	31,90 **	189,34 *	2,96 **
Erro	280	4,17	66,00	0,96
CV (%)	-	3,22	6,84	23,25
Média	-	63,53	118,75	4,23

**, * Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A precocidade é uma característica interessante para cultivares de sorgo granífero, pois como o cultivo é realizado principalmente na safrinha, podendo coincidir com condições adversas do clima. A semeadura do sorgo na safrinha aumenta o risco de redução na produtividade de grãos, em decorrência da possibilidade de ocorrência de estresse hídrico (TARDIN *et al.*, 2013; MENEZES *et al.*, 2015).

A altura da planta de sorgo granífero está correlacionada positivamente com a produtividade de grãos, no entanto, o porte consideravelmente alto aumenta a probabilidade de acamamento, sendo preferível plantas de porte médio. Observa-se que houve diferença significativa, para altura de plantas, em todos os ambientes (Tabela 1). Em Rio Verde, apesar de todos os híbridos apresentarem a altura com menor discrepância, quatro híbridos (1610051, 1610055, 1619044 e 1621043) obtiveram menor porte em relação aos demais e não diferiram significativamente entre si. Já em Sinop, três híbridos (1610049, 1610055 e 1619044) e a testemunha BRS373 se destacaram e diferiram dos demais apresentando menor porte (Tabela 3).

Em Sete Lagoas, nove híbridos e uma testemunha diferiram significativamente dos demais, apresentando menor altura, com médias variando de 89 cm (1619044) a 107 cm (1621043). Em Teresina, apenas o hibrido 1420020 foi superior a 1,00 m, sendo os demais inferiores a este valor (Tabela 3). Em trabalhos de avaliação de cultivares de sorgo granífero, Silva *et al.* (2009) observaram intervalos de altura entre 0,71m a 1,14 m e Almeida Filho *et al.* (2014) os intervalos entre 0,96m a 1,55m.

O híbrido com aspectos favoráveis em relação a altura de plantas não pode ser baixo a ponto de limitarem a produtividade de grãos e nem muito alto tornando-o suscetível ao acamamento (MENEZES *et al.*, 2015). Os híbridos que obtiveram porte favorável em mais de um ambiente foram 1610011, 1610027, 1610043, 1610049, 1610051, 1621043 e a testemunha BRS373 (Tabela 3).

Tabela 2. Média da característica florescimento em dias, dos trinta e seis híbridos avaliados nos quatro ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI, na segunda safra de 2017[1].

Híbridos	Rio Verde	Sinop	Sete Lagoas	Teresina	Médias
1420020	71 c	59 c	72 c	58 c	65
1420038	68 b	60 c	75 d	55 b	64
1421020	71 c	52 a	69 b	57 b	62
1516033	72 c	55 a	74 d	56 b	64
1516035	66 a	52 a	70 b	54 a	60
1516045	66 b	52 a	67 b	52 a	59
1516047	70 c	54 a	72 c	56 b	63
1516049	67 b	59 c	74 d	57 b	64
1516051	71 c	56 b	72 c	57 b	64
1516053	63 a	53 a	67 b	52 a	59
1527019	66 a	56 b	70 c	54 a	61
1527025	65 a	61 d	69 b	62 d	64
1528025	74 c	59 c	72 c	59 c	66
1528039	72 c	55 a	70 c	55 b	63
1610001	66 b	60 c	70 c	59 c	64
1610006	67 b	60 c	74 d	59 c	65
1610009	64 a	57 b	65 a	55 b	60
1610011	68 b	59 c	71 c	57 b	64
1610023	66 b	59 c	75 d	56 b	64
1610027	67 b	59 c	72 c	61 d	64
1610029	72 c	59 c	76 d	61 d	67
1610033	65 a	57 b	69 b	55 b	61
1610037	68 b	60 c	68 b	61 d	64
1610039	70 c	62 d	68 b	62 d	65
1610041	67 b	59 c	66 b	60 c	63
1610043	64 a	57 b	70 c	55 b	62
1610049	67 b	61 d	68 b	62 d	65
1610051	62 a	57 b	67 b	55 b	60
1610055	69 c	63 d	67 b	62 d	65
1619044	70 c	54 a	74 d	53 a	63
1621043	70 c	63 d	66 b	63 d	65
1G100	65 a	54 a	63 a	56 b	59
1G220	71 c	64 d	63 a	64 d	65
BRS330	68 b	58 c	75 d	58 c	65
BRS373	67 b	56 b	69 b	55 b	62
FOX	68 b	53 a	62 a	54 a	59
Médias	68 B	57 A	70 C	57 A	

[1]Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

Pode-se observar diferença significativa na produtividade de grãos em todos os ambientes (Tabela 1). A média geral da produtividade de grãos em Rio Verde foi de 4,74 t ha^{-1} e apresentando variação de 1,51 t ha^{-1} (1528039) a 6,78 t ha^{-1} (1610011). Em Sinop, as médias

variaram de 0,45 t ha^{-1} (1528039) até 4,70 t ha^{-1} (1610029), com média de 3,18 t ha^{-1}. A variação ocorrida em Sete Lagoas foi de 1,13 t ha^{-1} (15280397) a 7,73 t ha^{-1} (1610006), sendo a média de 4,81 t ha^{-1}. Já em Teresina, ocorreu variação de 1,89 t ha^{-1} (1528039) a 6,28 t ha^{-1} (1610039), com média geral de 4,19 t ha^{-1} (Tabela 4). Destacam-se Rio Verde e Sete Lagoas com produtividade média de grãos significativamente superiores à Sinop e Teresina.

No município de Rio Verde, vinte e um híbridos apresentaram médias da produtividade de grãos significativamente superiores aos demais, entre eles estão duas das testemunhas. Em Sinop foram vinte híbridos que se destacaram sendo uma testemunha; e em Sete Lagoas somente dez híbridos apresentaram médias superiores aos demais sendo uma testemunha; e em Teresina, vinte e três híbridos superaram significativamente os demais. Os híbridos que se destacaram em pelo menos três ambientes foram 1420020, 1516035, 1516045, 1516049, 1516053, 1527019, 1527025, 1610009, 1610011, 1610023, 1610037, 1610039, 1610041, 1610049, 1610055, 1621043 e a testemunha 1G100. E os híbridos que se destacaram nos quatro ambientes foram 1610001, 1610006 e 1610051 (Tabela 4), sugerindo que os mesmos apresentam maior capacidade de adaptação nos ambientes de cultivo desta cultura.

Tabela 3. Média da característica altura de plantas em centímetros dos trinta e seis híbridos avaliados nos quatro ambientes: Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI, na segunda safra de 2017[1].

Híbridos	Rio Verde	Sinop	Sete Lagoas	Teresina	Médias
1420020	135 c	180 e	140 d	108 c	141
1420038	123 b	147 c	127 c	83 a	120
1421020	139 d	146 c	128 c	99 c	128
1516033	142 d	149 c	135 d	83 a	127
1516035	148 d	154 c	152 d	84 a	134
1516045	149 d	157 d	135 d	81 a	130
1516047	133 c	154 c	131 c	91 b	127
1516049	140 d	136 b	114 b	86 b	119
1516051	135 c	158 d	122 c	86 b	125
1516053	141 d	159 d	130 c	83 a	128
1527019	124 b	145 c	110 b	76 a	114
1527025	117 b	131 b	109 b	81 a	109
1528025	140 d	154 c	127 c	88 b	127
1528039	150 d	153 c	141 d	92 b	134
1610001	130 c	136 b	111 b	79 a	114
1610006	141 d	143 c	123 c	85 b	123
1610009	132 c	164 d	131 c	83 a	127
1610011	122 b	128 b	100 a	79 a	107
1610023	127 b	158 d	122 c	80 a	122
1610027	130 c	142 c	102 a	78 a	113
1610029	137 c	158 d	137 d	89 b	130
1610033	135 c	152 c	127 c	85 b	125
1610037	131 c	148 c	112 b	81 a	118
1610039	121 b	137 b	103 a	89 b	112
1610041	131 c	150 c	118 b	94 b	123
1610043	119 b	136 b	99 a	69 a	105
1610049	118 b	123 a	99 a	80 a	105
1610051	114 a	129 b	102 a	76 a	105
1610055	106 a	122 a	106 a	79 a	103
1619044	107 a	111 a	89 a	67 a	93
1621043	114 a	132 b	107 a	74 a	106
1G100	122 b	128 b	118 b	82 a	112
1G220	125 b	129 b	110 b	83 a	112
BRS330	127 b	147 c	117 b	86 b	119
BRS373	119 b	122 a	103 a	70 a	103
FOX	124 b	141 c	129 c	79 a	118
Médias	129 C	143 D	118 B	83 A	

[1]Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

A maior parte dos híbridos apresentou média de produtividade (Tabela 4) acima da média nacional do ano agrícola de 2017 que foi de 2,85 t ha^{-1} (CONAB, 2018). Vale ressaltar, que de todas as testemunhas que fizeram parte do experimento somente a FOX, em Sinop, ficou abaixo da média nacional. A média geral de cada

ambiente foi próxima a do trabalho realizado por Silva *et al.* (2013), que foi de 5,15 t ha^{-1}.

Em geral, apenas três híbridos experimentais e uma testemunha se destacaram em produtividade de grãos e florescimento em apenas dois ambientes. Sendo estes o 1516035 em Rio Verde e Sinop, 1516053 e 1527019 em Rio Verde e Teresina e a testemunha 1G100 em Rio Verde e Sete Lagoas. Os híbridos experimentais que destacaram em relação à produtividade de grãos e altura de plantas em dois ambientes foram o 1610049 em Sinop e Teresina e o 1621043 em Rio Verde e Teresina. No entanto, apenas quatro híbridos experimentais e uma testemunha se destacaram, em relação ao florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos, sugerindo assim, melhor capacidade de adaptação em determinado ambiente, sendo eles o 1610051 em Rio Verde e o 1516045, 1516053, 1527019 e FOX em Teresina. Vale ressaltar, que dois híbridos experimentais apresentaram aspectos favoráveis em todas as características avaliadas, sendo eles o 1610051 em Rio Verde, Sete Lagoas e Teresina e o 1610055 em Rio Verde, Sinop e Teresina (Tabelas 2, 3 e 4).

Ao analisar o resultado da análise de variância conjunta constatou-se a interação significativa entre ambientes e híbridos para a característica produtividade de grãos, o que justifica o uso da análise de adaptabilidade e estabilidade, para a identificação de genótipos estáveis e adaptados aos ambientes de interesse.

Esta análise foi realizada pelo método GGE biplot que agrupa o efeito aditivo do genótipo com o efeito multiplicativo da interação GxA e submetendo-a à análise de componentes principais, facilitando na construção do gráfico para identificar os padrões de desempenho dos genótipos, além de facilitar a visualização da média, estabilidade dos mesmos e a relação entre ambientes. Além disso, é possível identificar os ambientes que mais contribuem, para a composição da interação GxA (YAN, 2011).

Tabela 4. Média da característica produtividade de grãos em t ha^{-1} dos trinta e seis híbridos avaliados nos quatro ambientes: Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI, na segunda safra de 2017[1].

Códigos	Híbridos	Rio Verde	Sinop	Sete Lagoas	Teresina	Médias
1	1610001	6,57 a	4,41 a	5,88 a	5,48 a	5,59
2	1610011	6,78 a	4,09 a	4,96 b	4,84 a	5,17
3	1610027	4,42 b	4,05 a	4,40 b	4,59 a	4,36
4	1610039	5,39 a	4,69 a	4,52 b	6,28 a	5,22
5	BRS373	4,22 b	2,83 b	3,70 c	4,35 a	3,77
6	1610049	4,82 a	2,82 b	3,78 c	4,73 a	4,74
7	1610051	4,83 a	3,84 a	6,54 a	4,39 a	4,90
8	1610055	6,22 a	3,51 a	5,09 b	4,42 a	4,81
9	1610006	5,44 a	4,05 a	7,73 a	5,42 a	5,66
10	1516049	6,43 a	3,73 a	4,71 b	5,33 a	5,05
11	1610023	5,80 a	2,75 b	5,77 a	4,76 a	4,77
12	1610037	5,39 a	4,45 a	4,83 b	4,08 a	4,68
13	1610043	4,82 a	2,82 b	3,78 c	4,73 a	4,04
14	1527025	5,24 a	4,19 a	5,45 b	4,53 a	4,85
15	1527019	5,48 a	3,77 a	5,50 b	4,77 a	4,88
16	1621043	5,22 a	3,39 a	5,05 b	4,04 a	4,43
17	1610009	3,81 b	3,47 a	5,61 a	5,37 a	4,56
18	1610033	3,63 b	3,64 a	4,63 b	3,14 b	3,76
19	1610041	5,81 a	3,77 a	5,43 b	4,95 a	4,99
20	1619044	2,84 c	0,91 c	1,43 d	2,75 b	1,99
21	1516033	3,74 b	1,78 c	3,73 c	3,11 b	3,09
22	1516047	4,15 b	1,73 c	3,17 c	3,29 b	3,09
23	1516051	3,11 b	2,14 b	3,66 c	2,91 b	2,96
24	1421020	5,34 a	2,23 b	3,70 c	2,77 b	3,51
25	1516035	5,37 a	3,23 a	6,13 a	3,87 b	4,65
26	1516045	4,67 a	2,60 b	5,79 a	4,94 a	4,50
27	1516053	5,30 a	2,62 b	5,70 a	4,74 a	4,59
28	1528039	1,51 c	0,45 c	1,13 d	1,89 b	1,24
29	1528025	1,90 c	1,22 c	3,87 c	2,36 b	2,34
30	1420038	3,63 b	3,73 a	4,99 b	3,85 b	4,05
31	1610029	4,20 b	4,70 a	4,86 b	3,06 b	4,20
32	1420020	4,32 b	4,49 a	6,66 a	4,46 a	4,98
33	BRS330	3,80 b	3,15 a	4,48 b	3,77 b	3,80
34	1G100	5,95 a	2,99 b	6,84 a	5,15 a	5,24
35	Fox	4,16 b	2,26 b	3,88 c	4,25 a	3,64
36	1G220	5,08 a	2,90 b	5,00 b	3,36 b	4,09
	Médias	4,74 A	3,18 C	4,81 A	4,19 B	

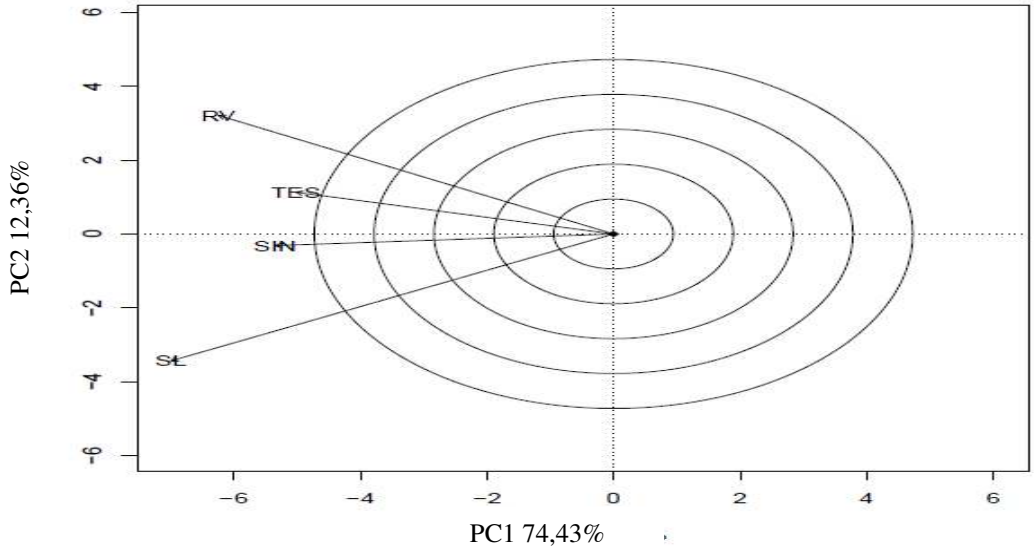
[1]Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, agrupam-se pelo critério de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

O método GGE biplot, foi formado por dois componentes principais, PC1 e PC2, que são derivados da decomposição dos valores singulares dos efeitos de genótipos (G) e da interação GxA. O primeiro componente principal PC1 indica que a adaptabilidade dos genótipos é altamente correlacionada com a produtividade, enquanto o segundo componente principal PC2 indica a estabilidade fenotípica, ou seja, os

genótipos com PC2 mais próximos de zero são mais estáveis (BATISTA *et al.*, 2017).

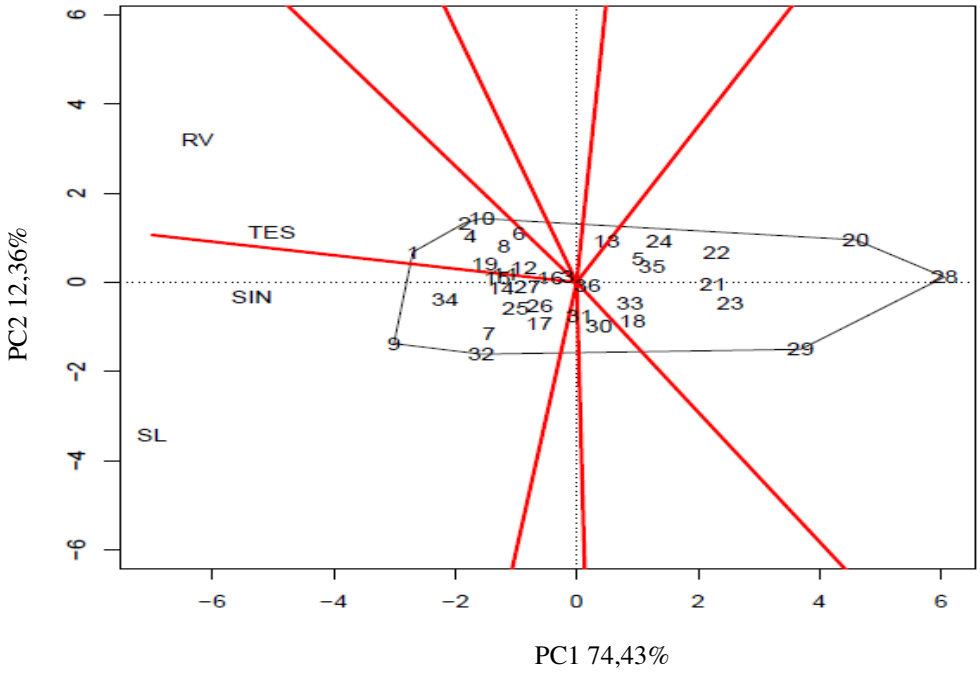
Os valores do PC1 e PC2 correspondem a 74,43% e 12,36% da variação total dos dados, respectivamente (Figura 2). No entanto, estes valores dão consistência à explicação da variação total da produtividade de grãos dos híbridos, além da interação com os ambientes (G + GxA). A relação entre produtividade de grãos e estabilidade é analisada do ponto de vista vetorial dos ambientes, em que estes são conectados por vetores com a origem biplot (YAN, 2011). Ainda segundo o autor, os vetores pequenos dentro do ambiente indicam que a estabilidade do rendimento é alta. Então, ambientes com vetores menores são mais estáveis, assim, Teresina e Sinop foram os ambientes que menos contribuíram para interação GxA, apresentando a menor diferença de produtividade entre os híbridos avaliados. Rio Verde e Sete Lagoas foram os ambientes que apresentaram o maior vetor, sendo os que mais contribuíram para a interação GxA (Figura 2).

Figura 2. Relação entre os ambientes obtidos pelo modelo GGE biplot para produtividade de grãos de trinta e seis híbridos de sorgo cultivados em Rio Verde-GO (RV), Teresina-PI (TES), Sinop-MT (SIN) e Sete Lagoas-MG (SL).



A presença de ângulos largos e obtusos entre os ambientes de teste é indicativo de interação GxA, ou seja, quanto menor o ângulo entre os ambientes, mais estabilidade eles promovem (HONGYU *et al.*, 2015). Com isso os ambientes Teresina e Sinop de acordo com a figura 1 são os mais estáveis. O polígono está formado pela conexão dos vértices que estão mais afastados da origem do biplot, sendo conectados pelos híbridos 28 (1528039), 20 (1619044), 10 (1516049), 2 (1610011), 1 (1610001), 9 (1610006), 32 (1420020) e 29 (1528025). Tais híbridos possuem os maiores vetores, em suas respectivas direções, sendo o comprimento e o sentido do vetor que simbolizam a medida de respostas dos genótipos aos ambientes testados. 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. Todos os outros híbridos estão contidos no polígono e apresentam vetores menores, ou seja, são menos responsivos em relação à interação, com os ambientes dentro daquele setor (Figura 3).

Figura 3. Polígono do GGE biplot representando o gráfico *quem venceu onde,* para os trinta e seis híbridos em Rio Verde-GO (RV), Teresina-PI (TES), Sinop-MT (SIN) e Sete Lagoas-MG (SL). Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 4.



Os vetores do centro biplot (0,0), que são perpendiculares aos lados do polígono, dividiram o gráfico em oito setores (Figura 3). Resultados semelhantes foram observados por Batista *et al.* (2017), que obtiveram gráficos divididos em oito setores ao avaliarem o rendimento de grãos de vinte e nove híbridos de sorgo cultivados sob condições de estresse hídrico e de não-estresse em Nova Porteirinha-MG, em 2014 e 2015, e em Teresina-PI, em 2014.

Em relação ao desempenho dos híbridos nos ambientes de experimentação, uma característica interessante é o híbrido encontra-se no vértice do polígono, dentro de um mega-ambiente, significa que obteve a maior produtividade e adaptabilidade, em pelo menos um dos ambientes e esteve dentre os melhores híbridos nos ambientes restantes. Assim, o híbrido 1 (1610001) foi o mais adaptado aos ambientes Rio Verde e Teresina por ser o vértice desses ambientes, e os híbridos 10 (1516049), 2 (1610011), 4 (1610039), 6 (1610049), 8 (1610055), 19 (1610041), 12 (1610037),16 (1621043) e 3 (1610027) que estão contidos dentro do polígono entre Teresina e Rio Verde também apresentaram boa adaptabilidade a esses ambientes. Já o híbrido 9 (1610006) é o vértice dos ambientes Sinop e Sete Lagoas, sendo este o mais adaptado a esses ambientes, os demais híbridos 32 (1420020), 15 (1527019), 14 (1527025), 27 (1516053), 34 (1G100), 25 (1516035), 26 (1516045), 7 (1610051) e 17 (1610009) também demonstraram boa adaptabilidade aos ambientes, em que estão contidos (Figura 3). Portanto, todos esses híbridos além de apresentarem maior adaptabilidade foram os mais produtivos.

Apesar do híbrido 28 (1528039) se localizar no vértice do polígono e ser muito estável juntamente com os híbridos 20 (1619044) e 29 (1528025), eles apresentaram os menores valores de produtividade de grãos, nos quatro ambientes. Portanto, os híbridos que compõem um setor que não contempla ambientes, são considerados não adaptados aos ambientes testados, especialmente, por baixa produtividade (KARIMIZADEH *et al.*, 2013).

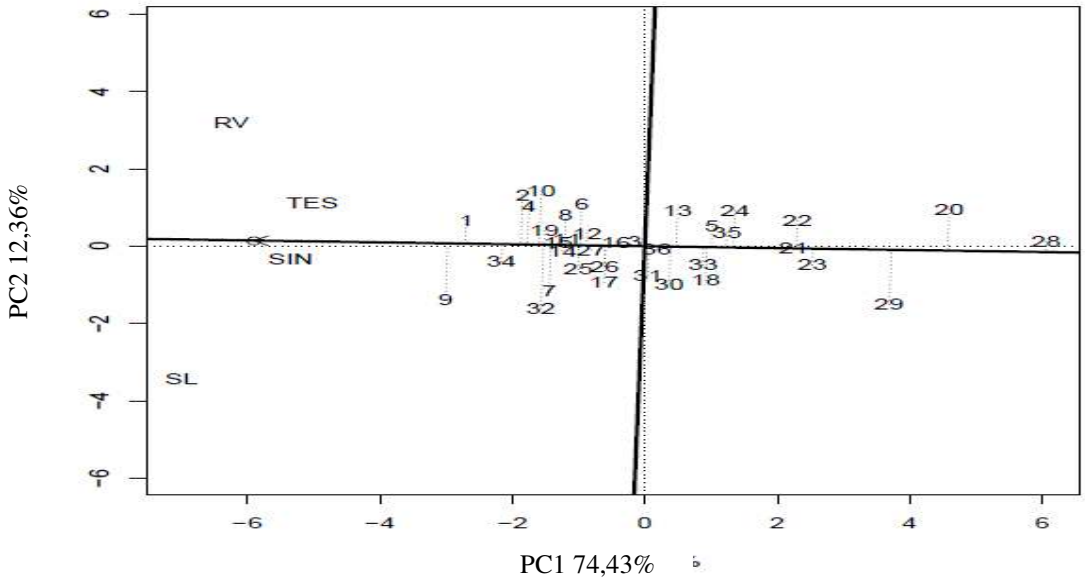
Outra forma de visualizar a adaptabilidade e estabilidade é através da figura 4, em que observa-se um pequeno círculo do lado esquerdo, no qual representa o 'ambiente-média' sendo definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes de teste no biplot, com a seta apontando para um maior desempenho médio para os híbridos. Quanto maior a distância de projeção do híbrido em relação à linha reta, menor é a sua estabilidade (YAN, 2011).

Sendo assim os híbridos que apresentaram a melhor média de produtividade, acima da média geral na maioria dos ambientes foram: 32

(1420020), 9 (1610006), 7 (1610051), 10 (1516049), 2 (1610011), 4 (1610039), 6 (1610049), 8 (1610055), 1 (1610001), 17 (1610009), 25 (1516035), 26 (1516045), 19 (1610041), 12 (1610037), 34 (1G100), 14 (1527025), 27 (1516053), 15 (1527019), 16 (1621043) e 3 (1610027). Além da alta produtividade todos estes híbridos foram estáveis, exceto o 2 (1610011), 10 (1516049), 9 (1610006), 7 (1610051) e o 32 (1420020) que foram mais instáveis dentre os híbridos de melhor produtividade (Figura 4).

Os híbridos de menor produtividade em todos os ambientes foram 29 (1528025), 20 (1619044) e 28 (1528039), demonstrando que as suas médias em todos os ambientes ficaram abaixo da média geral de cada ambiente. Os agrupamentos das médias tanto para maior ou menor produtividade são observados na tabela 4.

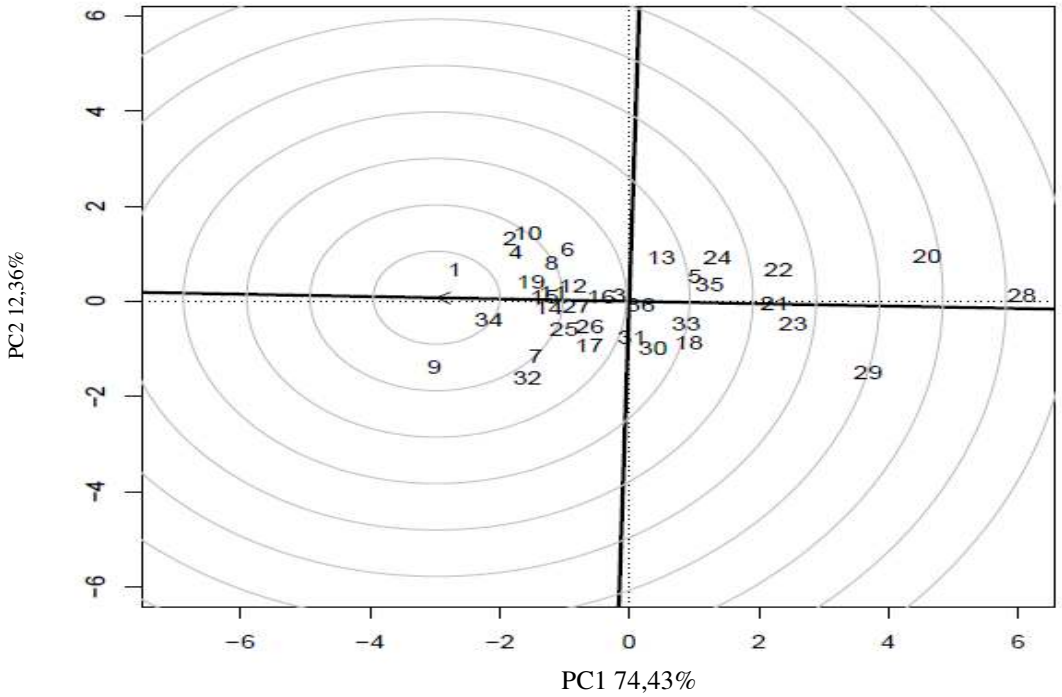
Figura 4. Médias x estabilidade do GGE biplot, indicando o ranking de produtividade dos híbridos e suas respectivas estabilidades produtivas em Rio Verde-GO (RV), Teresina-PI (TES), Sinop-MT (SIN) e Sete Lagoas-MG (SL). Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 4.



Um híbrido é mais promissor se ele estiver localizado o mais próximo possível do genótipo ideal. Quanto mais próximo do centro dos círculos concêntricos, mais útil é o híbrido, significando que apresenta parâmetros favoráveis de adaptabilidade, ou seja, é responsivo aos ambientes testados e estabilidade de produtividade, a qual significa maior previsibilidade de comportamento (YAN, 2011).

O híbrido ideal é o 1 (1610001) que está contido no primeiro círculo, em seguida o 34 (1G100) e os híbridos 2 (1610011), 10 (1516049), 4 (1610039), 8 (1610055), 19 (1610041), 15(1527019), 14 (1527025), 25 (1516035), 7 (1610051) e 9 (1610006) estão contidos no segundo círculo concêntrico e são os que mais se aproximaram do híbrido ideal, sendo considerados deste modo, híbridos desejáveis, em termos de produtividade e estabilidade (Figura 5).

Figura 5. Modelo do GGE biplot comparando os híbridos avaliados com a estimativa de um híbrido ideal. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 4.



Analisando as médias das características avaliadas e os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, destacam-se doze com aspectos favoráveis sendo eles: 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 e 1G100, que apresentaram melhor produtividade, adaptabilidade e estabilidade.

Em geral, todos os híbridos apresentaram baixa variação em relação ao ciclo e ao porte da planta, entretanto, os híbridos experimentais 1610001, 1610006 e 1610051, além do híbrido comercial 1G100, sobressaíram por associar aspectos favoráveis em relação às características avaliadas e estimativas favoráveis dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Desta forma, entende-se que estes híbridos apresentaram maior responsividade nos ambientes avaliados, bem como destacam-se pela previsibilidade de comportamento.

Conclusões

Os híbridos 1610001, 1610006, 1610051 e 1G100 associaram altas produtividades de grãos e aspectos favoráveis em relação a altura de planta e florescimento com estimativas favoráveis de adaptabilidade e estabilidade.

Referências

ALMEIDA FILHO, J.E.; TARDIN, F.D.; DAHER, R.F.; SILVA, K.J.; XAVIER NETO, J.B.; BASTOS, E.; LOPES, V.S.; BARBÉ, T.C.; MENEZES, C.B. 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. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p82-95

BATISTA, P.S.C.; MENEZES, C.B.; CARVALHO, A.J.; PORTUGAL, A.F.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; SANTOS, C.V.; JULIO, M.P.M. Performance of grain sorghum hybrids under drought stress using GGE biplot analyses. **Genetics and Molecular Research**, v.16, n.3, p.1-12, 2017. http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039761

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira – Grãos, Safra 2017/18**. Nono Levantamento, v. 5. Brasília: Conab, 2018. 146p.

CRUZ, C.D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276, 2013. http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 668p.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura do sorgo granífero.** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 1982. 39p. (Circular Técnica, 5).

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FREITAS, R.S.; BORGES, W.L.B.; SILVA, G.S. Realidade e perspectiva para cultura do sorgo granífero no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE MILHO E SORGO. **Anais** [...]. Campinas: IAC, 2009. p.1-11. (Documentos IAC, 89).

HONGYU, K.; SILVA, F. L.; OLIVEIRA, A.C.S.; SARTI, D.A.; ARAUJO, L.B.; DIAS, C.T.S. Comparação entre os modelos ammi e gge biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biometria**, v.33, n.2, p.139-155, 2015.

KARIMIZADEH, R.; MOHAMMADI, M.; SABAGHNI, N.; MAHMOODI, A. A. GGE biplot analysis of yield stability in multienvironment trials of lentil genotypes under rainfed condition. **Notulae Scientia Biologicae**, v.5, n.2, p.256-262, 2013. http://dx.doi.org/10.15835/nsb.5.2.9067

MENEZES, C.D.; RIBEIRO, A.S.; TARDIN, F.D.; CARVALHO, A.J.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; PORTUGAL, A.F.; SILVA, K.J.; SANTOS, C.V.; ALMEIDA, F.H.L. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.1, p.101-115, 2015.

MENEZES, C. B.; SILVA, A. F.; TARDIN, F. D. Sorgo safrinha. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A.S. (Ed.). **Sorgo**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa, 2015. cap. 18, p. 293-308. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p101-115

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451p.

QUEIROZ, V.A.; MORAES, E.A.; MARTINO, H.S. D.; PAIVA, C.L.; MENEZES, C.B. Potencial do sorgo para uso na Alimentação Humana. **Informe Agropecuário**, v.35, n.278, p.7-12, 2014.

SILVA, A.G.; BARROS, A.S.; SILVA, L.H.C.P.; MORÃES, E.B.; PIRES, R.; TEIXEIRA, I.R. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.2, p.168-174, 2009.

SILVA, K.J.; MENEZES, C.B.; TARDIN, F.D.; MARTIEMYGDIO, B.; SOUZA, V.F.; CARVALHO, G.A.; SILVA, M.J. Seleção de híbridos de sorgo granífero cultivados no verão em três localidades. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.1, p.44-53, 2013. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n1p44-53

TARDIN, F.D.; ALMEIDA FILHO, J.E..; OLIVEIRA, C.M.; LEITE, C.D.P.; MENEZES, C.B.; MAGALHÃES, P.C.; RODRIGUES, J.A.S.; SCHAFFERT, R.E. 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. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p102-117

ZANATTO, I. B. *et al.* Identificação de caracteres relacionados à precocidade e produtividade em híbridos de sorgo via correlações canônicas. **Revista Científica Intelletto**, v. 1, n. 1, p. 89-94, 2016.

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.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v.40, n.3, p.597-605, 2000. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x