

UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS E
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE SORGO
GRANÍFERO

LUDMILLA RIBEIRO DA ROCHA GOMES
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação-- (CIP)

G614c Gomes, Ludmilla Ribeiro da Rocha

Capacidade combinatória de linhagens e adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero. / Ludmilla Ribeiro da Rocha Gomes. — 2018.
64 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo André Simon.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2018.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. *Sorghum bicolor*. 2. Cruzamentos dialélicos. 3. GGE biplot. I. Simon, Gustavo André.

CDD: 633.174

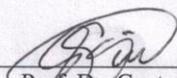
Elaborada por Fernanda Castro - Bibliotecária CRB1/3191

LUDMILLA RIBEIRO DA ROCHA GOMES

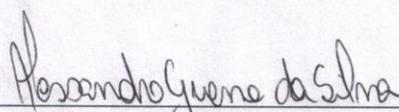
**CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS E ADAPTABILIDADE E
ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE SORGO GRANÍFERO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*

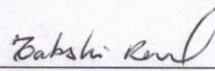
APROVAÇÃO: 11 de julho de 2018



Prof. Dr. Gustavo André Simon
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. Takeshi Kamada
Membro – FA/UniRV



Dr. Cícero Beserra de Menezes
Membro/Embrapa Milho-Sorgo

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Rosana Ribeiro da Rocha Gomes e Jorcelito Ferreira Gomes, a minha avó Lêda da Rocha Martins, pois foi através dos conselhos, apoio e incentivo, que cheguei até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por que sem ele eu não teria conseguido, pois segurou em minhas mãos e me guiou o tempo todo, além de me dar sabedoria, inteligência e discernimento, para conseguir realizar todo o trajeto do curso.

Ao Orientador Professor Dr. Gustavo André Simon, principalmente pela paciência, pelo apoio, amizade e conhecimentos divididos, que contribuíram para a execução deste trabalho.

Ao Dr. Cícero Beserra de Menezes, da Embrapa Milho e Sorgo de Sete Lagoas-MG, pela disponibilidade dos materiais, para a execução do experimento e as informações repassadas que contribuíram para o desenvolvimento da dissertação.

A Capes, pelo apoio concedido através da bolsa.

Aos professores do mestrado da UniRV, que foram importantes em minha formação acadêmica.

Aos meus amigos do mestrado, pelo incentivo e apoio constantes.

Aos estudantes e estagiários da UniRV, que contribuíram para à condução do experimento.

Aos meus pais e minha avó, que me apoiaram, durante a realização do curso.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto e que de certa forma, auxiliaram-me durante o curso.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO GERAL.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 A cultura do sorgo, importância e seus aspectos socioeconômicos.....	2
2.2 Melhoramento genético do sorgo.....	2
2.3 Cruzamentos dialélicos.....	4
2.4 Capacidade combinatória.....	5
2.5 Adaptabilidade e estabilidade.....	6
REFERÊNCIAS.....	8
CAPÍTULO 1 - CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE SORGO GRANÍFERO.....	11
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1 Locais de condução experimental.....	14
2.2 Linhagens utilizadas e obtenção das sementes híbridas.....	15
2.3 Plano experimental e condução.....	15
2.4 Características avaliadas.....	15
2.5 Análises estatísticas.....	16
2.5.1 Análises de variância.....	16
2.5.2 Análises dialélicas.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4 CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO 2. USO DO MÉTODO GGE BILOT PARA ANÁLISES DA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE SORGO GRANÍFERO.....	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	33

1 INTRODUÇÃO.....	34
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
2.1 Locais de condução experimental.....	35
2.2 Plano experimental e condução.....	35
Características agronômicas dos híbridos comerciais.....	36
Características avaliadas.....	36
Análises estatísticas.....	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Variação de temperatura e precipitação pluvial (Fonte: Climate-date.org 2018).....	14
TABELA 2	Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente á avaliação de 30 híbridos provenientes do dialelo parcial 5 x 6 em Rio Verde, GO, na segunda safra, 2017.....	18
TABELA 3	Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Sinop, MT, na safra 2017.....	18
TABELA 4	Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Sete Lagoas, MG, na safra 2017.....	18
TABELA 5	Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Teresina, PI, na safra 2017.....	19
TABELA 6	Resumo da análise de variância conjunta para florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD), em quatro ambientes, Rio Verde (GO), Sinop (MT), Sete Lagoas (MG) e Teresina (PI), referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6, na safra de 2017.....	20
TABELA 7	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos I e II (gi e gj) para à característica florescimento, em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI.....	21
TABELA 8	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos I e II (gi e gj) para à característica altura de planta, em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI.....	22

TABELA 9	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos I e II (g_i e g_j) para à característica produtividade de grãos, em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI.....	23
TABELA 10	Estimativas do efeito da capacidade específica de combinação (s_{ij}) para à característica florescimento, avaliada em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI.....	26
TABELA 11	Estimativas do efeito da capacidade específica de combinação (s_{ij}) para à característica altura de planta, avaliada em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI.....	27
TABELA 12	Estimativas do efeito da capacidade específica de combinação (s_{ij}) para à característica produtividade de grãos, avaliada em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI.....	28
TABELA 13	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...	39
TABELA 14	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.....	41
TABELA 15	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.....	43
TABELA 16	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.....	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	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, Teresina-PI, Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.....	46
FIGURA 2	Polígono do GGE biplot representando o gráfico <i>quem venceu onde</i> , para os trinta e seis híbridos em Rio Verde-GO, Teresina-PI, Sinop-MT e Sete Lagoas-MG. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 16.....	47
FIGURA 3	Médias x estabilidade do GGE biplot, indicando o ranking de produtividade dos híbridos, mais suas respectivas estabilidades produtivas. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 16.....	49
FIGURA 4	Modelo do GGE biplot comparando os híbridos avaliados com a estimativa de um híbrido ideal. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 16.....	50

RESUMO GERAL

Gomes, Ludmilla Ribeiro da Rocha, M.S., UniRV - Universidade de Rio Verde, julho de 2018. **Capacidade combinatória de linhagens e adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero.** Orientador: Prof. Dr. Gustavo André Simon. Coorientador: Dr. Cícero Beserra de Menezes.

Uma grande vantagem do sorgo são suas características xerófitas, o que lhe atribui um potencial, como sucessão às culturas de verão, na produção de grãos. Sendo assim é fundamental a escolha de cultivares adaptadas, produtivas e com valor agregado, a diferentes condições de cultivo. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi gerar informações a respeito da capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero e avaliar o comportamento de híbridos de sorgo granífero, nas diferentes condições de ambiente das áreas de produção da cultura. Os ensaios foram conduzidos, na safreinha 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 36 tratamentos. Foram avaliadas as características florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos. Os parâmetros da capacidade geral e específica de combinação foram estimados, segundo modelo de Griffing e da adaptabilidade e estabilidade pelo modelo GGE biplot. As linhagens restauradoras G1.3 e G1.5 referentes ao florescimento e as linhagens macho-estéreis G2.2 referentes a altura e produtividade são consideradas promissoras, para exploração de genitores. O híbrido 5x3 foi o mais promissor para uma redução do florescimento e alta produtividade, destacando-se em todos os ambientes. E o cruzamento 1x2 contribuiu para todas as características avaliadas, conforme o ideal, para a cultura na maioria dos ambientes. Os híbridos promissores quanto às características avaliadas foram 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 e a 1G100.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, cruzamentos dialélicos, GGE biplot

ABSTRACT

Gomes, Ludmilla Ribeiro da Rocha, M.S., UniRV - Universidade de Rio Verde, julho de 2018. **Combinatorial capacity of lineages and adaptability and stability of grain sorghum hybrid.** Orientador: Prof. Dr. Gustavo André Simon. Coorientador: Dr. Cícero Beserra de Menezes.

A rudge advantage about sorghum is its xerophytes characteristics, that provides a potential, as a summer culture succession, in grain produtiction. That is why it is essential the choice of adapted, productive and added value cultivate, in different growing conditions. The purpose of this research is to bring data about the combinatorial capacity of grain sorghum lineages and to evaluate the behavior of grain sorghum hybrids in different environmental conditions of the field. The trials were taken in direct sowing system, in 2017 off-season in four different environments: Rio Verde, Sete Lagoas, Teresina and Sinop. The trials were leaded into randomized block designs, repeated three times in thirty-six treatments. The characteristics evaluated were: flowering, height and grain productivity. The indicators of general capacity and especific combination were estimate by Griffing models and the adaptability and stability by GGE biplot. The restorative lineages G1.3 and G1.5 corresponding to the flowering and the sterille male G2.2 corresponding the height and productivity tend to be promising to a genitor exploration. The hybrid 5x3 was the most promising to a flwoering decrease and high productivity, in all environments. The crossing 1x2 contributed to all the characteristics evaluated to the culture in most of the environments. The promising hybrids according to the characteristics evaluated were 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 and 1G100.

Key words: *bicolor*, dialectical cross, GGE biplot

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) está entre os cinco cereais mais produzidos no mundo. A produção brasileira é de aproximadamente 1,87 milhões de toneladas, em área cultivada de aproximadamente 634,1 mil hectares, sendo Goiás o maior produtor de sorgo do Brasil, com produção de 805,4 mil toneladas (CONAB, 2017). 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.

Uma grande vantagem desta cultura são suas características xerófitas, 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 baixa e insuficiente. Sendo assim, é fundamental a escolha de cultivares adaptadas, produtivas e com valor agregado a diferentes condições de cultivo.

Os programas de melhoramento genético de sorgo desenvolvem um número significativo de linhagens, desta forma, emprega-se a técnica de cruzamentos dialélicos, que tem como objetivo auxiliar na seleção de genitores mais promissores para a produção de híbridos, informando acerca da ação gênica relacionada com a expressão dos caracteres mediante estimação das capacidades geral e específica de combinação. Onde capacidade geral de combinação é associada principalmente, aos efeitos aditivos dos alelos, enquanto que a capacidade específica de combinação é determinada por efeitos de dominância dos alelos.

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.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi gerar informações a respeito da capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero e avaliar o comportamento de híbridos de sorgo granífero nas diferentes condições de ambiente, nas áreas de produção da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do sorgo, importância e seus aspectos socioeconômicos

O sorgo é uma planta da família *poaceae*, do gênero *Sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench é uma planta autógama, com baixa taxa de fecundação cruzada, apresentando metabolismo C4, e altas taxas fotossintéticas, requerendo temperaturas superiores a 21° C para um bom crescimento e desenvolvimento (Paul, 1990).

O sorgo é considerado o quinto cereal mais importante do mundo, destaca-se dentre as culturas pela diversidade de possibilidades de usos, como a produção de ração animal e alimentação humana (sorgo granífero) sendo este o de maior extensão mundial, forragem para alimentação de ruminantes (sorgo forrageiro), vassoura (sorgo-vassoura), biocombustíveis (sorgo sacarino e sorgo biomassa) (Queiroz et al., 2014). Uma das grandes vantagens da cultura do sorgo é sua adaptação a diversos ambientes, por apresentar maior tolerância à deficiência hídrica e ao excesso de umidade, em comparação com outras culturas de produção de grãos, especialmente o milho (Freitas et al., 2009).

Um dos cereais mais produzidos é o sorgo, com produção mundial estimada para safra 2016/17 de 64,11 milhões de toneladas e a produção brasileira aproximada de 1,9 milhões de toneladas, em área cultivada de aproximadamente 634,1 mil hectares, sendo Goiás o maior produtor de sorgo do Brasil, com 805,4 mil toneladas (CONAB, 2017).

A crescente expansão do cultivo do sorgo granífero em sucessão a culturas de verão tem gerado a busca por cultivares produtivas e adaptadas às condições predominantes, nas regiões de plantio. Já que nesta época a segunda safra, ocorre aproveitando as chuvas do final do verão e início do outono em que, geralmente apresentam distribuição de chuvas instáveis e, muitas vezes, insuficientes. Assim, com a finalidade de buscar maior rentabilidade por área, o cultivo do sorgo é impulsionado, uma vez que possui importantes características xerófitas que tornam propício, o seu uso, nessa época (Almeida Filho et al., 2012).

2.2 Melhoramento genético do sorgo

Os programas de melhoramento genético possuem a função de identificar plantas com caracteres que atendam as exigências de produtores, comerciantes e principalmente consumidores. Entretanto, a escolha de materiais para serem usados como genitores, é uma etapa crítica. Se essa escolha for eficiente, os genitores, ao serem cruzados produzirão híbridos, e posteriormente, populações segregantes promissoras que devem apresentar elevada média e ampla variabilidade (Lorencetti et al., 2005).

Os cruzamentos dialélicos têm sido largamente utilizados pelos melhoristas para a seleção de genitores e de cruzamentos, uma vez que eles permitem obter informações, sobre o potencial genético dos genitores, possibilitando a escolha daqueles, que melhor contribuem para o alto desempenho dos híbridos (Lopes et al., 2001; Ledo et al., 2003).

Algumas características são indispensáveis no programa de melhoramento de plantas como as estimativas de componentes de variância genética e do coeficiente de herdabilidade os quais são importantes subsidiando a escolha da estratégia mais adequada de melhoramento, além de possibilitar a obtenção de estimativas de ganhos que serão alcançados, com a seleção (Moura, 2013).

Inicialmente, os programas de melhoramento de sorgo, eram voltados para a obtenção de cultivares. O desenvolvimento de híbridos e, conseqüente o aproveitamento da heterose resultante de cruzamentos, foi possível após a descoberta da macho-esterilidade genético-citoplasmática viável, resultante da combinação de citoplasma Milo e genes kafir. A macho-esterilidade genético-citoplasmática é uma característica que envolve genes mitocondriais, herdados maternalmente, e restauradores da fertilidade de natureza nuclear, constituindo um sistema binário. Desse modo, a geração F1 de plantas de citoplasma Milo (macho-estéreis) cruzadas com plantas com genes kafir (restauradoras de fertilidade) é totalmente fértil (Rocha, 2016).

A produção de sementes híbridas de sorgo requer uma linhagem restauradora de fertilidade (R), uma linhagem macho-estéril (A) e uma linhagem mantenedora de esterilidade (B). As linhagens A (feminina) e R (masculina, polinizadora) são cruzadas para produzirem um híbrido F1 macho-fértil. A linhagem macho-estéril (A) é mantida e multiplicada por cruzamento com a linhagem mantenedora (B). As sementes produzidas pelo cruzamento entre as linhagens A e B resultaram em planta A (macho-estéril) devido ao citoplasma estéril herdado da linhagem A, ou seja, a linhagem B não restaura a fertilidade da linhagem A. Estas linhagens (A e B) são isogênicas, porém diferem na fertilidade do pólen (Rocha, 2016).

O estudo sobre o desempenho dos híbridos em vários ambientes é de extrema importância, de forma a selecionar aqueles mais adaptados e estáveis, até obter um híbrido comercial e um elevado número de genótipos avaliados. No programa de obtenção de híbridos, estão envolvidas pelo menos quatro etapas: a escolha das populações, a obtenção das linhagens, a avaliação da capacidade de combinação das mesmas e o teste extensivo das combinações híbridas obtidas (Paterniani & Campos, 2005).

A necessidade do uso de cultivares adaptadas às condições ambientais da região de cultivo, além do manejo recomendado a cultura, compõe um conjunto de fatores importantes

para o aumento da produção de grãos. Sendo assim, é extremamente necessária a avaliação do desempenho de híbridos de sorgo granífero, em regiões produtoras de grãos, disponibilizando-se, ao produtor informações técnicas, para o emprego do sorgo no sistema de produção (Silva et al., 2016).

2.3 Cruzamentos dialélicos

O termo dialélico tem sido utilizado para expressar o conjunto de $p(p-1)/2$ híbridos resultante do acasalamento entre p genitores (linhagens, variedades, clones, entre outros.), podendo incluir além dos genitores, gerações relacionadas. Seu uso apresenta consideráveis benefícios, possibilitando a obtenção de informações do desempenho da população *per se* e em combinações híbridas. Além disso, permite obter estimativas de parâmetros genéticos úteis na seleção dos genitores para hibridação e no entendimento da natureza, e magnitude dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

Os cruzamentos dialélicos são eficientes na determinação das melhores combinações híbridas, mas uma limitação pode ser o fato de que um grande número de genitores gera um grande número de cruzamentos a serem avaliados, dificultando o trabalho do melhorista, pois demanda muito esforço nas polinizações manuais para à obtenção de todos os cruzamentos desejados (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

Assim foram desenvolvidos alguns modelos que facilitaram o trabalho dos melhoristas, sendo estes cruzamentos dialélicos divididos em quatro tipos: completos ou balanceados, parciais, circulantes e os incompletos ou desbalanceados. a) dialélicos balanceados: incluem os híbridos F1's entre todos os pares de combinações dos genitores; b) dialélicos parciais: envolvem dois grupos de genitores e seus respectivos cruzamentos; c) dialélicos circulantes: os genitores são representados por um mesmo número de cruzamentos, porém inferior a $p-1$, sendo p o número de genitores; d) dialélicos desbalanceados: todas as combinações híbridas e também as demais gerações estão representadas, porém em frequência variável, em virtude do número desigual de repetições por tratamento (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

Com o interesse de reduzir o número de cruzamentos e o de materiais a serem avaliados, Geraldi & Miranda Filho (1988) propuseram uma adaptação do modelo completo de Gardner & Eberhart (1966) para análise e estimação de parâmetros de cruzamentos dialélicos parciais entre dois grupos distintos de genitores, propiciando a avaliação de maior número de materiais, com o mesmo esforço empregado, em cruzamentos dialélicos completos.

2.4 Capacidade combinatória

Encontram-se disponíveis na literatura vários métodos de análise dos cruzamentos dialélicos, como a proposta por Griffing (1956), pela qual são estimados os efeitos da capacidade geral e específica de combinação; a metodologia proposta por Gardner & Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedades e heterose varietal; e a proposta por Hayman (1954) que dá informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo e dos valores genéticos dos progenitores utilizados e do limite de seleção.

De acordo com Sprague & Tatum (1942) os conceitos de capacidade geral de combinação (CGC) é o desempenho médio de uma linhagem em combinações híbridas e capacidade específica de combinação (CEC) é o comportamento que leva certas combinações a serem superiores ou inferiores, em relação ao esperado pelo desempenho médio das linhagens parentais. Estes autores também enfatizam que as estimativas de CGC e CEC são relativas e dependem do conjunto de linhagens incluídas nos híbridos sob teste. A CGC é associada principalmente, aos efeitos aditivos dos alelos, enquanto que a CEC é determinada por efeitos de dominância dos alelos.

Geraldi & Miranda Filho (1988) propuseram um modelo para o estudo da capacidade geral e específica de combinação em dialélos parciais envolvendo os genitores e F1's, que se constitui em uma adaptação do modelo de Griffing (1956). O uso do dialélo parcial apresenta a vantagem de maximizar as informações sobre os grupos estudados, com um número menor de cruzamentos (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

As estimativas dos efeitos da CGC fornecem informações sobre as potencialidades do genótipo em gerar combinações favoráveis à seleção de genes predominantemente aditivos em seus efeitos. Assim, quanto mais altas forem essas estimativas, positivas ou negativas, o genótipo será considerado muito superior ou inferior, aos demais incluídos no cruzamento dialélico, e, se próximas a zero, o seu comportamento não se diferencia da média geral dos demais cruzamentos (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012).

Um cruzamento favorável é aquele com maior estimativa de CEC e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos genótipos apresente elevada CGC (Cruz; Regazzi; Carneiro, 2012). Entretanto, quando dois genitores apresentarem elevadas estimativas da CGC, nem sempre eles proporcionarão a formação da melhor combinação do dialélo, podendo haver falta de complementaridade entre eles (Cruz; Vencovsky, 1989).

A análise dialélica também permite estudar o padrão heterótico que é o fenômeno decorrente da superioridade da geração F1(híbrido) em relação à média dos seus genitores. O

vigor híbrido se manifesta nos descendentes de linhagens com elevada capacidade específica de combinação (Hallauer; Miranda Filho; Carena, 2010). A heterose é expressa quando há complementariedade alélica entre os parentais (genitores). A presença e a magnitude da heterose evidenciam a perspectiva para a produção de híbridos.

2.5 Adaptabilidade e estabilidade

A produção de grãos pode ser prejudicada em ambientes de baixa precipitação ou irregularidade de sua distribuição. Dessa maneira, a seleção de genótipos mais adaptados a condições de estresse hídrico pode contribuir, para aumentar a viabilidade do cultivo agrícola em regiões com limitações de água ao longo do ano, como nas regiões de clima semiárido, ou no centro-oeste e sudeste, em períodos de segunda safra (Menezes et al., 2015).

Os programas de melhoramento genético tendem a desenvolver cultivares para aprimorar o desempenho em diferentes ambientes. Ressalta-se que experimentos evidenciam a existência da interação entre a cultivar e o local de cultivo, fator esse que se destaca, como um dos maiores complicadores, na tomada de decisão referente à qual cultivar recomendar (Almeida Filho, 2012).

Existem três maneiras para minimizar os resultados da interação genótipos por ambientes: identificar cultivares específicas para cada ambiente; realizar o zoneamento ecológico ou estratificação ambiental; ou identificar cultivares com maior estabilidade fenotípica, sendo esta a melhor alternativa (Ramalho et al., 2012).

No entanto, algumas populações de plantas possuem adaptação ampla enquanto outras são restritas a determinadas condições ambientais de cultivo. A presença da interação GxA interfere de forma intensa, nos programas de melhoramento, pois em uma situação ideal as cultivares deveriam possuir adaptabilidade a vários ambientes e terem boa estabilidade, porém o fator interação faz com que, na maioria das vezes, as cultivares sejam indicadas para ambientes específicos, por possuírem maior adaptabilidade nessas condições ambientais. O termo adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos em responderem de forma positiva ao estímulo do ambiente, enquanto a estabilidade refere-se à capacidade dos genótipos desempenharem um comportamento previsível em função do estímulo do ambiente (Silva et al, 2011).

De acordo com Menezes et al. (2015) vários métodos, baseados em diferentes princípios, foram descritos para avaliação da interação GxA e para a determinação da adaptabilidade e da estabilidade fenotípica. Os métodos de Lin & Binns (1988) e Annicchiarico

(1992) são altamente correlacionados e possibilitam interpretação fácil, baseada na análise de apenas um parâmetro.

Silva & Benin (2012) citam as metodologias mais recentes, como as análises AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction), que combinam técnicas estatísticas para ajustar os efeitos principais (genótipos e ambientes) e os efeitos da GE (Mandel, 1971; Zobel et al., 1988), cujo modelo é baseado em efeitos principais aditivos e na interação multiplicativa; e o modelo GGE biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction), proposto por Yan et al (2000), que considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipo e ambiente. Ambas as análises, baseadas em gráficos biplot, representam graficamente uma matriz de dados.

A análise GGE biplot agrupa o efeito aditivo de genótipo com o efeito multiplicativo da interação GxA, e submete estes 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 e estabilidade dos genótipos e a relação entre ambientes. Além disso, é possível identificar os ambientes que mais contribuem para a composição da interação GxA (Yan et al., 2007).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, J.E.A. **Avaliação Agronômica e de Estabilidade e Adaptabilidade de Híbridos de Sorgo**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2012.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v.46, n.1, p.269-278, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra Brasileira de Grãos - Safra 2016/17**.v.4, n.11, Décimo Primeiro Levantamento, Brasília: CONAB, 2017.p.125.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa: Editora UF. 2012. v.1, 514p.

CRUZ, C.D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista brasileira de genética**, v.12, p.425-438, 1989.

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. Campinas: IAC, 2009. p.1-11. (Documentos IAC, 89).

GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v.22, p. 439-452, 1966.

GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. Adapted model for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, v.11, n.2, p.419-430, 1988.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, p.463-493, 1956.

HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B.; M.J. CARENA. Heterosis. In: HALLAUER, A.R., MIRANDA FILHO, J.B.; M.J. CARENA. (Ed.). **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, p.477-459, 2010.

HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v.39, p.789-809, 1954.

LEDO, C.A.S.; FERREIRA, D.F.; RAMALHO, M.A.P. Análise de variância multivariada para os cruzamentos dialélicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.6, p.1214-1221, 2003.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n.3, p.193-198, 1988.

LOPES, A.C.A.; FREIRE FILHO, F.R.; SILVA, R.B.Q.; CAMPOS, F.L.; ROCHA, M.M. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.515-520, 2001.

LORENCETTI, C. et al. Capacidade combinatória e heterose em cruzamento dialélico de aveia (*Avena sativa* L.) **Revista Brasileira Agrociência**, v.11, n.2, p.143-148, 2005.

MANDEL, J. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, v.13, p.1-18, 1971.

MENEZES, C.B.; 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.

MOURA, R.M. **Análise dialélica e de famílias de feijão-caupi visando seleção para extraprecocidade**. 2013. 99f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. p. 491-552.

PAUL, C.L. Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del sorgo. In: PAUL, C.L. **Agronomía del sorgo**. Patancheru: ICRISAT, 1990. p.43-68.

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.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522p.

ROCHA, M.J.da .**Capacidade combinatória de linhagens e seleção de híbridos de sorgo sacarino**. 2016. 77f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SILVA, R.R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v.42, n.8, p.1404-1412, 2012.

SILVA, G.O.; CARVALHO, A.D.F.; VIEIRA, J.V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v.70, n.3, p.494-501, 2011.

SILVA, K.J. da; MENEZES, C.B. de; TARDIN, F.D; SILVA, A.R. da; CARDOSO, M.J; BASTOS, E. A; GODINHO, V. P. C.de. Seleção para produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p. 335-345, 2016.

SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General versus specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v.34, n.10, p.923-932, 1942.

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.

YAN, W.; KANG, M.S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P.L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**,v.47, n.2, p.643-653, 2007.

ZOBEL, R.W.; MADISON, J. W.; HUGH, G. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.388-393,1988.

CAPÍTULO 1

CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE SORGO GRANÍFERO

RESUMO

Com a expansão do sorgo a diversos ambientes, aumenta a procura por seleção de novas linhagens, visando à produção de híbridos de alto desempenho. O trabalho teve como objetivo gerar informações a respeito da capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero nas diferentes condições de ambiente das áreas de produção da cultura. Os ensaios foram conduzidos na safrinha de 2017, em sistema de plantio direto, em quatro ambientes, Rio Verde, Sete Lagoas, Teresina e Sinop. Foram avaliados trinta híbridos resultantes dos cruzamentos de seis linhagens restauradoras de fertilidade com cinco linhagens macho-estéreis, pertencentes ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas. Foi empregado em todos os experimentos, o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. As características avaliadas foram; florescimento, altura de plantas e a produtividade de grãos. Verificou-se efeitos significativos de CEC para quase todas as características. Os efeitos de CGC das linhagens restauradoras G1.3 e G1.5 referente ao florescimento e as linhagens macho-estéreis G2.2 referente a altura e produtividade são consideradas promissoras, para exploração de genitores. O híbrido 5x3 foi o mais promissor para uma redução do florescimento e alta produtividade, destacando-se em todos os ambientes. E o cruzamento 1x2 contribuiu para todas as características avaliadas, conforme o ideal para a cultura, na maioria dos ambientes.

Palavras-chave: cruzamentos dialélicos, seleção de genitores, sucessão de culturas.

ABSTRACT

COMBINATORIAL CAPACITY OF GRAIN SORGHUM LINEAGES

The expansion of sorghum in several environments, the look for new lineages selection increase, aiming the production of high-performance hybrids. This work aimed to bring data about t O trabalho teve como objetivo gerar informações a respeito da e combinatorial capacity of grain sorghum lineages in different enviromental conditions in the áreas of production. The trials were taken in 2017 off-season in direct sowing system, in four places: Rio Verde, Sete Lagoas, Teresina and Sinop. Thirty hybrids were evaluated resulting six lineages cross, fertilizing restorative with five sterille male lineages, belonging with Embrapa Corn and Sorghum upgrading program, in Sete Lagoas. The experiment was leaded into randomized block designs with three repetitions. The characteristics evaluated were: flowering, plant height and grain productivity. Signifficant effects of CEC could be seen in almost all characteristics. The effects of CGC of restorative lineages G1.3 e G1.5 relating to flowering and the sterill male lineages G2.2 relating to height and productivity are considered promising to genitor exploration. The hybrid 5x3 was the most promising in a decrease of flowering and high prductivity, doing great in all environments. The cross 1x2 contributed to all the characteristics evaluated, according to the necessities of the culture, in most of the enviroments.

Key-words: dialectical cross, genitors selection, culture succession.

1 INTRODUÇÃO

O sorgo é cultivado em todo o mundo (Ásia, África, Europa, Norte, América Central e do Sul) sendo utilizado como alimentação humana, rações e forragens. No Brasil o grão é usado principalmente, para rações de aves, suínos e bovinos (Menezes et al., 2014), sua área de cultivo é predominantemente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste. Os maiores produtores são os Estados de Goiás, Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso, (CONAB, 2017).

Uma vantagem desta cultura é a sua adaptação a diversos ambientes, por apresentar melhor desempenho que outros grãos, em regiões em que o volume e a frequência de chuvas costumam ser oscilantes ou até insuficientes (Almeida Filho et al., 2010). Tornando-se assim uma opção as culturas de sucessão, após o cultivo da soja.

Desta forma, pesquisas na área de melhoramento genético do sorgo possibilitam o desenvolvimento de genótipos mais adaptados a essas regiões produtoras, em que associam-se caracteres favoráveis como híbridos com alta produtividade, precocidade e altura de plantas ideal para a colheita (Kumar et al., 2011; Tardin et al., 2013), que atendam as exigências de produtores e empresas beneficiadoras.

A escolha dos genótipos mais promissores para serem utilizados como progenitores em cruzamentos é uma das etapas cruciais, no programa de melhoramento genético pois, permite que a maioria dos esforços seja dedicada àquelas populações segregantes potencialmente capazes de fornecer progênies superiores. Entretanto, a técnica de cruzamentos dialélicos assume grande importância nesta questão, pois auxilia o melhorista na escolha de progenitores com base em seus valores genéticos e, principalmente, considerando a sua capacidade de se combinarem com híbridos promissores (Menezes et al., 2017).

Dialélico é uma expressão utilizada para representar um conjunto de híbridos resultantes do cruzamento de genitores, que são utilizados para estimativas de parâmetros úteis para a seleção de novas linhagens, visando à produção de híbridos de alto desempenho (Kunz, 2015).

Oliboni et al. (2013) citam ainda, que os cruzamentos dialélicos proporcionam a obtenção de estimativas das capacidades de combinações gerais e específicas, pois a combinação destas análises de capacidade fornece informações úteis à seleção dos pais em termos de desempenho de seus híbridos. Além disso, sua análise elucidada a natureza e magnitude de vários tipos de genes e ações envolvidas, na expressão das características avaliadas (Prakash et al., 2010).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi gerar informações a respeito da capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero nas diferentes condições de ambiente das áreas de produção da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Locais de condução experimental

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), 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), em Teresina – PI (61,0 m de altitude, 05°02'8,6'' S e 42°47'7,4'' O) e Sinop – MT (384m de altitude, 11°52'27'' S e 55°30'22'' O).

Tabela 1. Variação de temperatura e precipitação pluvial (Fonte: Climate-date.org 2018)

RIO VERDE	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho
Temperatura média (°C)	24.3	24.5	23.4	22.5	21.4	20.9	22.9
Temperatura mínima (°C)	19.2	19.3	17.9	16.6	15	14.1	15.6
Temperatura máxima (°C)	29.5	29.7	29	28.4	27.8	27.8	30.2
Chuva (mm)	277	208	196	113	43	13	13
SETE LAGOAS							
Temperatura média (°C)	23.6	23.6	22.3	20.4	18.6	18.5	20.9
Temperatura mínima (°C)	17.9	17.8	16.3	13.9	11.5	10.9	15
Temperatura máxima (°C)	29.4	29.4	28.3	26.9	25.8	26.2	26.9
Chuva (mm)	266	168	143	56	25	10	12
SINOP							
Temperatura média (°C)	24.7	25.1	25.7	24.9	23.8	23.2	24.4
Temperatura mínima (°C)	19.4	19.7	20.4	18	15.9	14.4	15.3
Temperatura máxima (°C)	30.1	30.5	31.1	31.8	31.8	32.1	33.5
Chuva (mm)	299	309	244	155	43	5	2
TERESINA							
Temperatura média (°C)	26.8	26.5	27	26.9	26.8	26.8	26.9
Temperatura mínima (°C)	22.4	22.3	22.5	22.3	21.5	20.7	20.3
Temperatura máxima (°C)	31.3	30.8	31.5	31.6	32.1	32.9	33.5
Chuva (mm)	190	234	307	252	117	21	11

2.2 Linhagens utilizadas e obtenção das sementes híbridas

Foram utilizadas seis linhagens restauradoras de fertilidade (R), representadas pela sigla GI : 9503062 (1), 9503086 (2), CMSXS180R * BR012(SC549)-9-2-1-1 (3), SC 1080 (4), TX 2903 (5), CMSXS180 (6), e cinco linhagens macho-estéreis (A) que foram representadas pela sigla GII: ATF54A * {ATF54B * [(Tx623B*ATF54B)6-1]}-240-C-1 (1), ATF54A * {ATF54B * [(Tx623B*ATF54B)6-1]}-596-C (2), ATF54A * {ATF54B * [(Tx623B*ATF54B)6-1]}-206-C-1 (3), (CMSXS156BxATF30)6-3-C-1-1A (4), ATF14A (5), pertencentes ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, situado em Sete Lagoas – MG. As cinco linhagens R e as seis linhagens A, foram cruzadas, em esquema dialélico parcial 5x6 obtendo-se 30 híbridos.

2.3 Plano experimental e condução

Foi empregado em todas as localidades, o delineamento experimental, em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de duas fileiras de 5,0 m de comprimento e espaçadas de 0,50 m entre si.

A semeadura manual dos experimentos ocorreu em março de 2017. O manejo fitossanitário, em todos os locais foi realizado, conforme exigências da cultura e necessidade observada em levantamentos amostrais. 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.

2.4 Características avaliadas

- Florescimento: número de dias da semeadura até o florescimento, quando na parcela, mais de 50% das plantas, as flores do terço médio da panícula entrarem em antese.
- Altura de planta: medição, em metros, do colo da planta ao ápice da panícula, considerando amostra de dez plantas, por parcela.
- 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 kg ha⁻¹ e corrigidos a 13% de umidade.

2.5 Análises estatísticas

2.5.1 Análises de variância

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, para cada experimento, 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 ; $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

O modelo estatístico adotado para análise de variância conjunta, considerando todos os experimentos, foi: $Y_{ijk} = \mu + B_k(A_j) + G_i + A_j + G_i A_j + \varepsilon_{ijk}$; sendo $B_k(A_j)$ o efeito aleatório do bloco k no ambiente j ; A_j o efeito aleatório do j -ésimo ambiente; $G_i A_j$ 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 ; $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

2.5.2 Análises dialélicas

As análises de variância foram realizadas de acordo com Método 4, modelo misto B de Griffing (1956), que estima os efeitos da CGC e CEC de cada genótipo, a partir de um conjunto de p parentais e das gerações resultantes, de acordo com o modelo estatístico: $Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$, sendo Y_{ij} : é o valor médio observado da combinação híbrida ($i j$) ou do genitor ($i = j$); m : é a média geral; g_i e g_j : efeitos da capacidade geral de combinação do i -ésimo e do j -ésimo genitor, respectivamente; s_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre genitores de ordem i e j ; e_{ij} : é o erro experimental.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância individuais das características florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos, avaliadas em Rio Verde, Sinop, Sete Lagoas e Teresina com os respectivos quadrados médios e os valores dos componentes quadráticos para as capacidades combinatórias encontra-se nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. Observaram-se diferenças significativas, para todas as características avaliadas na fonte de variação de genótipos, mostrando haver variabilidade genética, entre os híbridos.

A estimativa da CGC. GI foi significativa para todas as características avaliadas em todos os ambientes. Para CGC. GII todas as características foram significativas, exceto o florescimento em Rio Verde. Já na CEC IxII nem todas as características foram significativas, como altura e produtividade, em Rio Verde, florescimento em Sete Lagoas e altura em Teresina, sendo as demais todas significativas. Com destaque para Sinop em que todas as avaliações para CGC e CEC foram significativas, mostrando a importância dos efeitos aditivos (CGC) no controle do caráter, e que os efeitos de dominância (CEC) também são importantes e, portanto serão explorados quando se trabalha com a produção de híbridos

A significância tanto das capacidades gerais, quanto a específica de combinação, indica que efeitos aditivos e não aditivos, ou seja, de dominância, atuam na variância genotípica dos caracteres avaliados. A presença de significância para as capacidades gerais de combinação indica, que pelo menos uma linhagem, em cada conjunto gênico difere das demais, na concentração de alelos favoráveis para o caráter, qualquer que seja o tipo de dominância destes alelos (Kunz et al., 2015).

Um fato importante a ser observado está na superioridade dos valores dos quadrados médios da CGC sobre os CEC, sendo um indicativo da maior importância da variabilidade gênica aditiva sobre a não aditiva, exceto para o florescimento, em Rio Verde em que a CEC IxII foi superior a CGC GII permitindo estabelecer a hipótese de que os efeitos gênicos não aditivos revelados foram de maior importância na determinação do caráter do que os aditivos. O trabalho realizado por Menezes et al. (2017) também relatou a superioridade dos valores dos quadrados médios da CGC sobre os de CEC para florescimento, altura e produtividade de grãos.

Os coeficientes de variação para florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos, em todos os ambientes, exceto em Sinop que foi (26%) para produtividade, os demais foram baixos demonstrando assim, uma alta precisão ao experimento.

Tabela 2. Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente á avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Rio Verde, GO, na segunda safra, 2017

FV	GL	Quadrados Médios		
		FL (dias)	AP (cm)	PROD (Kg/ha)
Genótipos	29	18,19**	298,81 **	4,23 **
CGC G-I	5	242,47**	965,14 **	8,63 **
CGC G-II	4	43,88 ^{ns}	440,98 **	9,92 **
CEC IxII	20	241,39 **	103,80 ^{ns}	1,99 ^{ns}
Resíduo	50	4,96	104,69	1,86
Média	-	68,41	133,10	4,57
CV (%)	-	3,26	7,70	9,84

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F, ^{ns} não significativo.

Tabela 3. Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Sinop, MT, na safra 2017

FV	GL	Quadrados Médios		
		FL (dias)	AP (cm)	PROD (kg/ha)
Genótipos	29	21,98 **	556,01 **	7,17 **
CGC G-I	5	100,66 **	1321,35 **	11,20 **
CGC G-II	4	9,92 **	1241,26 **	8,02 **
CEC IxII	20	4,73**	227,63 **	5,99 **
Resíduo	50	1,04	55,93	0,40
Média	-	57,20	147,71	3,44
CV (%)	-	1,78	5,06	18,39

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F

Tabela 4. Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Sete Lagoas, MG, na safra 2017

FV	GL	Quadrados Médios		
		FL (dias)	AP (cm)	PROD (kg/ha)
Genótipos	29	27,86**	678,90 **	6,58 **
CGC G-I	5	87,95 **	2544,41 **	10,19**
CGC G-II	4	37,63 **	990,09 **	24,74**
CEC IxII	20	10,88 ^{ns}	150,29 **	2,04 **
Resíduo	50	7,94	57,22	1,45 ^{ns}
Média	-	71,28	122,05	4,63
CV (%)	-	3,95	6,20	26,00

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F, ^{ns} não significativo.

Tabela 5. Resumo da análise de variância individual das características florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD) referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6 em Teresina, PI, na safra 2017

FV	GL	Quadrados Médios		
		FL (dias)	AP (cm)	PROD (kg/ha)
Genótipos	29	21,36 **	212,21 **	3,33 **
CGC G-I	5	55,74 **	356,05 **	9,50 **
CGC G-II	4	41,73 **	635,86 **	5,20 **
CEC IxII	20	8,69 *	91,52 ^{ns}	1,41 **
Resíduo	50	4,04	61,32	0,38
Média	-	57,03	84,65	4,13
CV (%)	-	3,52	9,25	14,93

* e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F, ^{ns} não significativo.

Na análise de variância conjunta (Tabela 6) observou-se existência de diferença significativa, entre os tratamentos para todas as características avaliadas, confirmando assim, a presença de variabilidade genética entre os progenitores, usados no dialélo parcial, e os híbridos originados dos mesmos.

Verificou-se diferença significativa para todas as características avaliadas entre cruzamentos e ambientes, sendo que esta significância considera que os genótipos responderam diferentemente as variações ambientais.

Os efeitos de CGC II foram significativos para altura e produtividade, e não para florescimento. Para CGC II x amb foram verificados efeitos significativos, exceto para produtividade e para CEC x amb, a altura de plantas e a produtividade de grãos não foram significativas. Estes resultados sugerem que os efeitos da CGC e CEC responderam diferentemente as variações ambientais.

As estimativas da CGC de um genitor fornecem indicadores de seu potencial para gerar linhagens superiores. Uma baixa estimativa da CGC, positiva ou negativa, indica que a média de um pai, em cruzamento com o outro não diferem muito da média geral dos cruzamentos. Por outro lado, uma alta estimativa do CGC indica que a média é superior ou inferior à média geral, isto gera informações sobre a concentração de genes predominantes com efeitos aditivos (Menezes et al., 2014).

Tabela 6. Resumo da análise de variância conjunta para florescimento (FL), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD), em quatro ambientes, Rio Verde (GO), Sinop (MT), Sete Lagoas (MG) e Teresina (PI), referente à avaliação de 30 híbridos provenientes do dialélo parcial 5 x 6, na safra de 2017

FV	GL	Quadrados Médios		
		FL (dias)	AP (cm)	PROD (kg/ha)
Genótipos	29	39,52 **	1188,18 **	12,34 **
CGC I	5	119,82 *	3210,25 **	20,85 **
CGC II	4	13,84 ^{ns}	1738,83 **	27,71 **
CEC	20	24,58 **	572,53 **	7,14 **
Ambiente	3	4867,89 **	65475,88 **	43,59 **
CRUZ x AMB	87	13,74 **	134,41 **	1,43 *
CGC I x AMB	15	31,30 **	296,04 **	2,38 **
CGC II x AMB	12	21,03 **	232,91 **	1,70 ^{ns}
CEC x AMB	60	7,89 **	74,31 ^{ns}	1,13 ^{ns}
Resíduo	200	4,49	69,79	1,02
CV (%)		3,33	6,88	24,28

* e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F, ^{ns} não significativo.

Entre as 6 linhagens restauradoras de sorgo granífero (Grupo I) os valores de CGC que mais contribuíram para a redução do ciclo em Rio Verde foram G1.1, G1.2, G1.3 e G1.5, em Sete Lagoas G1.1, G1.3 e G1.5 em Sinop G1.3, G1.4, G1.5 e em Teresina G1.3 e G1.5. Diferente das linhagens G1.4 e G1.6 em Rio Verde, G1.2 G1.4 e G1.6 em Sete Lagoas, G1.1, G1.2 e G1.6 em Sinop e G1.1, G1.2, G1.6 em Teresina, onde estas aumentaram o ciclo dos cruzamentos (Tabela 7).

As estimativas de CGC para a redução do ciclo das linhagens macho-estéreis (Grupo II) foram a G2.1 em todos os ambientes, G2.2 em Sinop e Teresina, G2.3 em Rio Verde, G2.4 em Sete Lagoas e a G2.5 em Sinop e Teresina.

A linhagem G2.1 contribuiu para a redução do ciclo, em todos os locais. É muito importante conhecer as linhagens que possuem frequência alélica para um menor ciclo ao florescimento, tendo em vista, que a maior parte do sorgo é cultivado em sucessão às culturas de verão, sendo que nos períodos de chuvas são mais escassos, sendo preferível uma cultivar precoce.

Tabela 7. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos I e II (gi e gj) para a característica florescimento, em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI

Genitores	Rio Verde	Sete Lagoas	Sinop	Teresina	Médias
G1.1	-0,45	-0,86	2,02	2,09	0,70
G1.2	-1,37	1,28	1,9	0,83	0,66
G1.3	-0,99	-1,86	-0,18	-0,81	-0,96
G1.4	2,47	0,66	-2,22	-0,33	0,15
G1.5	-0,93	-2,08	-3,16	-2,93	-2,27
G1.6	1,25	2,84	1,62	1,15	1,72
G2.1	-0,83	-0,39	-0,26	-0,2	-0,42
G2.2	0,07	0,66	-0,26	-1,07	-0,15
G2.3	-0,48	0,76	0,01	0,1	0,10
G2.4	1,06	-1,77	1,19	2,36	0,71
G2.5	0,17	0,73	-0,68	-1,19	-0,24

As linhagens com maior destaque foram G1.3, G1.5 e a G2.1 que reduziram o ciclo em todos os locais em que foram conduzidos os experimentos, obtendo uma boa média e frequência alélica para reduzir o florescimento. São promissoras quanto à utilização como genitoras, em programas de melhoramento, apresentando potencial na formação de populações base para a extração de novas linhagens e possuem aspectos favoráveis para serem exploradas em combinações híbridas.

Uma das principais características de interesse dos agricultores é a precocidade dos híbridos, pois o sorgo é cultivado predominantemente na segunda safra no Brasil e está sujeito às condições adversas, como chuvas oscilantes ou até insuficientes e baixas temperaturas. Portanto, os melhoristas buscam selecionar híbridos mais precoces, por meio da seleção de híbridos de sorgo, com menor teor de umidade nos grãos na colheita e menor porte. Esses resultados são importantes para direcionar os programas de melhoramento de sorgo granífero, pois o florescimento é um caráter que está sujeito a altas variações ambientais (Zanatto et al., 2016).

A exigência do mercado de sorgo granífero em relação à altura é de 1,00 a 1,50 m, pois plantas abaixo desse valor apresentam menor rendimento de grãos, já as plantas maiores podem apresentar suscetibilidade ao acamamento. Para a escolha das melhores linhagens para cruzamentos em sorgo granífero, busca-se aquelas que pouco ou nada contribuem para aumentar ou diminuir a altura nos cruzamentos em que participou (Menezes et al., 2017).

As linhagens que mais contribuíram para aumentar o porte dos seus híbridos no grupo I foram a G1.4 em todos os ambientes, G1.5 em Rio Verde, Sete Lagoas e Sinop e a G1.6 em Sete Lagoas, Sinop e Teresina. As do grupo II foram G2.1 e G2.3 em Rio Verde, Sete Lagoas e Sinop e a G2.4 em Sinop e Teresina (Tabela 8).

No entanto as linhagens que mais reduziram o porte no grupo I foram G1.1 e G1.3 em todos os ambientes, G1.2 em Sete Lagoas, Sinop e Teresina e a G1.6 em Rio Verde. No grupo II foram G2.1 em Teresina, G2.2 em Sinop e a G2.5 em todos os ambientes. Conforme foi feito a relação das linhagens que mais contribuíram para aumentar ou para a redução significativamente a altura dos híbridos, nos determinados ambientes, estas serão evitadas para a produção de híbridos de sorgo granífero, pois os cruzamentos entre elas gera um híbrido muito alto ou pequeno, saindo assim, do padrão de altura exigido, pelo mercado.

Tabela 8. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos I e II (gi e gj) para a característica altura de planta, em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI

Genitores	Rio Verde	Sete Lagoas	Sinop	Teresina	Médias
G1.1	-8,15	-17,30	-14,04	-5,45	-11,24
G1.2	-0,87	-7,10	-2,90	-3,89	-3,69
G1.3	-4,89	-3,90	-2,30	-1,43	-3,13
G1.4	3,81	6,42	3,68	4,43	4,58
G1.5	11,77	14,60	6,90	0,65	8,48
G1.6	-1,69	7,28	8,68	5,71	4,99
G2.1	5,34	7,66	1,75	-1,07	3,42
G2.2	0,76	0,18	-2,37	-0,23	-0,42
G2.3	1,79	2,23	7,30	-0,63	2,67
G2.4	-0,97	-0,67	4,30	8,17	2,71
G2.5	-6,92	-9,40	-10,97	-6,23	-8,38

Geralmente a produtividade de grãos está relacionada com a altura de plantas, assim analisando as tabelas 8 e 9, observa-se que as linhagens G1.1 e G1.2 contribuíram para redução da altura, em todos os ambientes, e aumentaram a produtividade em todos os ambientes. Mas esta relação não é generalizada, pois as linhagens G2.1 e G2.3 aumentaram a altura em três ambientes e também foram produtivas e as linhagens que pouco influenciaram na altura como a G2.2 em três ambientes, também resultaram no aumento da produtividade. Um trabalho realizado por Menezes et al. (2017) demonstrou resultados diferentes, em que todas as linhagens que contribuíram para aumentar a altura foram as mesmas que aumentaram a produtividade,

exceto duas de quatro linhagens, que menos influenciaram na altura, mas aumentaram a produtividade.

Portanto, as linhagens que menos influenciaram na altura de seus híbridos no grupo I foram G1.2 em Rio Verde, e G1.5 em Teresina. As do grupo II foram G2.2 em Rio Verde, Sete Lagoas e Teresina, G2.3 em Teresina e a G2.4 em Rio Verde e Sete Lagoas. Assim estas linhagens serão utilizadas em programas de melhoramento, para à extração de linhagens superiores.

As linhagens restauradoras com melhores resultados para à produtividade de grãos foram a G1.1 e G1.2 em todos os ambientes e apenas G1.6 em Sete Lagoas e Sinop. Já no grupo das linhagens macho-estéreis as melhores foram G2.1 e G2.4, também em todos os ambientes, ao contrário das demais linhagens, que foram negativas nos dois grupos, que reduziram a produtividade (Tabela 9).

Tabela 9. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos I e II (gi e gj) para à característica produtividade de grãos, em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI

Genitores	Rio Verde	Sete Lagoas	Sinop	Teresina	Médias
G1.1	0,86	0,03	0,85	0,92	0,66
G1.2	0,94	0,69	0,41	0,66	0,67
G1.3	-0,50	-0,33	-0,29	-0,10	-0,31
G1.4	-0,44	-0,87	-0,91	-0,94	-0,79
G1.5	-0,32	0,01	-0,79	-0,24	-0,34
G1.6	-0,52	0,49	0,75	-0,30	0,10
G2.1	0,29	0,94	0,24	0,38	0,47
G2.2	0,43	0,06	0,04	0,22	0,19
G2.3	-0,22	0,18	0,14	-0,32	-0,06
G2.4	0,51	0,29	0,69	0,28	0,45
G2.5	-1,01	-1,47	-1,12	-0,57	-1,04

As linhagens positivas citadas indicam um aumento médio da contribuição gênica para produtividade, sendo indicadas como promissoras para serem usadas em programas de melhoramento, pois associam elevada média e elevada CGC, propiciando populações com bom potencial para extração de linhagens superiores.

As linhagens G1.3, G1.5 e G2.1 para florescimento, a G1.1, G1.2, G1.3 e G2.5 para altura de plantas, e G1.1, G1.2, G2.1, G2.2 e G2.4 para a produtividade foram as que tiveram melhor CGC em todos os ambientes com predominância de efeitos aditivos. Os maiores

destaques para todas ou pelo menos duas características foram as linhagens G1.3 para florescimento e altura de plantas, G1.1, G1.2 para altura de plantas e produtividade e a G2.1 para florescimento e produtividade. Estas linhagens são promissoras na maioria dos aspectos (caracteres) e possuem um significativo potencial de serem utilizadas, em programas de melhoramento para geração de genótipos, seja ele população ou híbrido.

Ao analisar as Tabelas 7, 8 e 9 observa-se que as linhagens G1.3 e G1.5 referente ao florescimento cruzadas com as linhagens G2.2, referente a altura e produtividade podem ser consideradas boas combinações por dias para florescer, altura e produtividade de grãos em diferentes ambientes. Com essas combinações dos pais, espera-se uma melhor heterose nos híbridos F1 para produzir genótipos mais precoces, com uma altura dentro dos limites consideráveis, para cultura e de maior produtividade na geração de segregação. Esses resultados estão semelhantes com os obtidos por Mahdy et al. (2011) e Essa (2009).

O cruzamento mais favorável será aquele com maior estimativa de CEC e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos genitores apresente elevada CGC (Cruz et al., 2004). Nas tabelas 10, 11 e 12 estão apresentadas as estimativas da CEC para florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos.

As combinações híbridas negativas estão indicando dominância, no sentido de reduzir o número de dias ao florescimento (reduzindo o ciclo), favorecendo a precocidade dos híbridos. Sendo estas combinações em Rio Verde (1x1, 1x3, 1x5, 2x4, 2x5, 3x1, 3x3, 3x4, 4x2, 4x4, 4x5, 5x1, 5x2, 5x3, 5x4, 6x1, 6x2 e 6x5); Sete Lagoas (1x2, 1x4, 1x5, 2x4, 2x5, 3x1, 3x3, 3x4, 4x3, 4x4, 4x5, 5x2, 5x3, 6x1 e 6x4); Sinop (1x2, 1x3, 1x5, 2x2, 2x3, 2x5, 3x5, 4x2, 4x4, 5x1, 5x2, 5x3, 6x1 e 6x4) e Teresina (1x2, 1x5, 2x3, 2x5, 3x1, 3x3, 3x5, 4x1, 4x4, 5x2, 5x3, 6x1, 6x2 e 6x4) (Tabela 10).

Em relação ao florescimento das 30 combinações híbridas realizadas, os cruzamentos que contribuirão, para a redução do ciclo em todos os ambientes foram 1x5, 2x5, 4x4, 5x2, 5x3 e 6x1, em que pelo menos um, desses parentais apresentaram CGC negativa. Ao contrário dos cruzamentos 2x1, 3x2, 5x4, 5x5 e 6x3 em que foram positivos em todos os ambientes. Portanto, ao analisar as médias observou-se que ocorreu pouca variação ao florescimento, sendo a maior parte dos parentais usados possuindo ciclos parecidos.

A altura de plantas correlaciona-se com produtividade de grãos, pois plantas muito baixas apresentam menor potencial produtivo e plantas muito altas não suportam panículas grandes, tendendo a acamar. Portanto, para capacidade de combinação, o ideal são aqueles cruzamentos com CEC próxima de zero, e que pelo menos um parental de CGC esteja entre este limite -5 e +5 (Menezes et al., 2017).

De todos os cruzamentos realizados nos quatro ambientes, 14 apresentaram CEC entre -5 e +5, sendo 1x1, 3x1 e 4x1 em Rio Verde, 1x4 e 4x1 em Sete Lagoas, Sinop foram 1x4, 1x5, 2x4, 3x3 e 4x3 e Teresina 1x2, 1x3, 5x1 e 6x3, sendo que apenas 1 deles (1x2) apresentou um dos parentais com CGC entre esta relação de limite. E as únicas combinações que se destacaram em pelo menos dois ambientes foram a 4x1 em Rio Verde e Sete Lagoas, 1x4 em Sete Lagoas e Sinop (Tabela 11).

Analisando as médias de cada cruzamento, em todos os ambientes, exceto pelos cruzamentos 5x4 e 6x4, não houve complemento de altura dos híbridos. Essa diferença deve ser do próprio vigor do híbrido.

Tabela 10. Estimativas do efeito da capacidade específica de combinação (sij) para à característica florescimento, avaliada em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI

Híbridos	Rio Verde	Sete Lagoas	Sinop	Teresina	Médias
1 x 1	-0,35	0,61	1,16	0,24	0,41
1 x 2	0,75	-0,14	-0,14	-0,49	-0,01
1 x 3	-0,40	1,06	-0,41	1,94	0,55
1 x 4	1,06	-0,01	1,41	0,68	0,79
1 x 5	-1,05	-1,51	-2,02	-2,37	-1,74
2 x 1	1,57	1,77	0,98	1,50	1,45
2 x 2	0,67	1,42	-0,02	0,77	0,71
2 x 3	0,22	1,62	-0,29	-1,80	-0,06
2 x 4	-0,02	-2,15	0,23	0,64	-0,33
2 x 5	-2,43	-2,65	-0,90	-1,11	-1,78
3 x 1	-2,21	-3,39	0,36	-0,46	-1,43
3 x 2	0,89	1,16	0,46	1,91	1,10
3 x 3	-1,16	-1,24	0,09	-1,16	-0,87
3 x 4	-0,70	-1,01	0,91	1,58	0,20
3 x 5	3,19	4,49	-1,82	-1,87	1,00
4 x 1	2,03	2,39	0,10	-0,64	0,97
4 x 2	-0,17	0,04	-0,20	0,53	0,05
4 x 3	1,38	-0,46	0,83	0,06	0,45
4 x 4	-0,56	-0,53	-3,65	-1,50	-1,56
4 x 5	-2,67	-1,43	2,92	1,55	0,09
5 x 1	-0,57	1,13	-1,26	0,26	-0,11
5 x 2	-0,77	-2,92	-1,66	-1,17	-1,63
5 x 3	-3,22	-2,72	-0,53	-2,34	-2,20
5 x 4	-0,16	3,81	1,99	0,60	1,56
5 x 5	4,73	0,71	1,46	2,65	2,39
6 x 1	-0,45	-2,49	-1,34	-0,92	-1,30
6 x 2	-1,35	0,46	1,56	-1,55	-0,22
6 x 3	3,20	1,76	0,29	3,28	2,13
6 x 4	0,36	-0,11	-0,89	-1,98	-0,66
6 x 5	-1,75	0,39	0,38	1,17	0,05

Tabela 11. Estimativas do efeito da capacidade específica de combinação (sij) para à característica altura de planta, avaliada em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI

Híbridos	Rio Verde	Sete Lagoas	Sinop	Teresina	Médias
1 x 1	0,50	-0,68	0,99	0,99	0,45
1 x 2	-3,12	-4,00	-2,89	-0,05	-2,51
1 x 3	3,75	-3,55	1,74	0,05	0,50
1 x 4	-2,29	0,15	-0,26	2,05	-0,09
1 x 5	1,16	8,08	0,41	-3,05	1,65
2 x 1	4,62	1,62	-2,45	6,03	2,45
2 x 2	7,20	0,00	-6,03	6,19	1,84
2 x 3	-6,23	5,45	6,30	0,59	1,53
2 x 4	0,73	-1,65	-0,40	-7,51	-2,21
2 x 5	-6,32	-5,42	2,57	-5,31	-3,62
3 x 1	-0,46	5,92	17,25	1,57	6,07
3 x 2	4,12	3,70	4,67	1,63	3,53
3 x 3	5,79	7,25	-0,30	3,03	3,94
3 x 4	3,85	1,75	1,40	3,03	2,51
3 x 5	-13,30	-18,62	-23,03	-9,27	-16,05
4 x 1	0,44	-0,20	-3,43	-4,29	-1,87
4 x 2	-3,98	3,08	5,39	2,87	1,84
4 x 3	-2,71	-7,27	0,02	-2,23	-3,05
4 x 4	3,15	1,43	-9,28	1,87	-0,71
4 x 5	3,10	2,96	7,29	1,77	3,78
5 x 1	-1,42	8,32	-1,95	0,39	1,33
5 x 2	4,46	-0,90	5,17	-3,65	1,27
5 x 3	-4,67	-7,95	-2,50	-1,45	-4,14
5 x 4	-10,81	-13,95	-11,20	-8,85	-11,20
5 x 5	12,44	14,48	10,47	13,55	12,74
6 x 1	-3,66	-14,96	-10,43	-4,67	-8,43
6 x 2	-8,68	-1,88	-6,31	-7,01	-5,97
6 x 3	4,09	6,07	-5,28	-0,01	1,22
6 x 4	5,35	12,27	19,72	9,39	11,69
6 x 5	2,90	-1,50	2,29	2,29	1,50

Para produtividade de grãos os cruzamentos que apresentaram resultados positivos de CEC nos quatro ambientes foram: Rio Verde (1x1, 1x2, 2x2, 2x3, 2x5, 3x2, 3x4, 4x4, 4x5, 5x1, 5x3, 6x1, 6x3 e 6x5); Sete Lagoas (1x1, 1x2, 1x5, 2x1, 2x3, 3x1, 3x2, 3x3, 3x4, 4x5, 5x1, 5x2, 5x3, 6x4 e 6x5); Sinop (1x1, 1x2, 2x1, 2x2, 2x4, 2x5, 3x1, 3x2, 3x3, 3x4, 4x5, 5x1, 5x2, 5x3, 5x4, 6x3 e 6x5); Teresina (1x4, 2x1, 2x2, 2x3, 2x5, 3x1, 3x4, 4x5, 5x2, 5x3, 6x4 e 6x5). Dentre

todos os cruzamentos apenas o 4x5 não apresentou nenhum parental de CGC positiva, os demais apresentaram pelo menos um parental (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativas do efeito da capacidade específica de combinação (sij) para à característica produtividade de grãos, avaliada em 30 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Sinop-MT e Teresina-PI

Híbridos	Rio Verde	Sete Lagoas	Sinop	Teresina	Médias
1 x 1	0,83	0,26	0,14	0,00	0,30
1 x 2	0,89	0,24	0,04	-0,54	0,16
1 x 3	-0,86	-0,48	-0,06	-0,20	-0,40
1 x 4	-0,59	-0,49	-0,01	0,90	-0,05
1 x 5	-0,27	0,47	-0,10	-0,15	-0,01
2 x 1	-0,45	1,40	0,28	0,16	0,34
2 x 2	0,41	-0,72	0,08	0,22	0,00
2 x 3	0,46	0,26	-0,92	0,26	0,02
2 x 4	-0,67	-0,85	0,23	-1,04	-0,59
2 x 5	0,25	-0,09	0,34	0,41	0,23
3 x 1	-0,61	0,32	0,38	0,92	0,25
3 x 2	0,05	0,30	0,58	-0,12	0,20
3 x 3	-0,30	0,08	0,58	-0,68	-0,08
3 x 4	1,17	0,77	0,23	0,62	0,70
3 x 5	-0,31	-1,47	-1,76	-0,73	-1,07
4 x 1	-0,77	-1,04	-0,70	-0,54	-0,77
4 x 2	-0,41	-0,66	-0,60	-0,18	-0,46
4 x 3	-0,86	-0,28	-0,30	-0,04	-0,37
4 x 4	0,61	-0,39	-0,75	-0,74	-0,32
4 x 5	1,43	2,37	2,36	1,51	1,92
5 x 1	0,81	0,48	0,58	-0,44	0,35
5 x 2	-0,03	1,06	0,18	0,82	0,51
5 x 3	1,22	0,84	0,08	1,16	0,83
5 x 4	-0,21	-0,27	0,43	-0,04	-0,03
5 x 5	-1,79	-2,11	-1,26	-1,49	-1,66
6 x 1	0,21	-1,40	-0,66	-0,08	-0,49
6 x 2	-0,93	-0,22	-0,26	-0,22	-0,41
6 x 3	0,32	-0,44	0,64	-0,48	0,01
6 x 4	-0,31	1,25	-0,11	0,32	0,29
6 x 5	0,71	0,81	0,40	0,47	0,60

As combinações híbridas 1x1, 3x4, 4x5, 5x3 e 6x5 destacaram-se por apresentarem elevada CEC positiva em todos os ambientes para produtividade de grãos. As demais

apresentaram destaque em dois ou três ambientes, sendo elas 1x2, 3x2 e 5x1 em Rio Verde, Sete Lagoas e Sinop; 2x2 e 2x5 em Rio Verde, Sinop e Teresina; 2x3 em Rio Verde, Sete Lagoas e Teresina; 6x3 em Rio Verde e Sinop; 2x1, 3x1 e 5x2 em Sete Lagoas, Sinop e Teresina; 3x3 em Sete Lagoas e Sinop; 6x4 em Sete Lagoas e Teresina.

Ao analisar as Tabelas, 10 e 12 a única combinação híbrida que obteve elevada CEC e pelo menos um parental com CGC foi a 5x3, ou seja, apresentou uma redução do florescimento e alta produtividade em todos os ambientes. Resultados semelhantes a estes foram obtidos por Abd-El-Mottaleb, (2009); Essa, (2009) e Mahdy et al., (2011).

No cruzamento 4x5 tem-se uma alta produtividade, sem complementação para a altura, porém possui um ciclo mais tardio que a média. Esta combinação híbrida é utilizada para o plantio no início da safreinha.

O cruzamento 1x2 contribuiu para redução da altura em todos os ambientes, além de possuir um dos seus parentais com elevada CGC para medidas que pouco, interferem na altura do híbrido, este cruzamento também reduziu o ciclo e aumentou a produtividade em três ambientes, podendo assim ser uma opção para o programa de melhoramento genético.

4 CONCLUSÕES

Houve efeito significativo da CGC das linhagens restauradoras para todas as características agrônômicas avaliadas, o mesmo para as linhagens macho-estéreis, com predominância dos efeitos aditivos, exceto para a característica florescimento em Rio Verde. Verificou-se efeitos significativos de CEC para quase todas as características. A significância tanto das capacidades gerais, quanto a específica de combinação, indica que efeitos aditivos e não aditivos, atuam na variância genotípica dos caracteres avaliados.

O híbrido G5xG3 foi o mais promissor para uma redução do florescimento e alta produtividade, em todos os ambientes. E o cruzamento G1xG2 contribuiu para todas as características avaliadas, conforme o ideal, para a cultura na maioria dos ambientes.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-MOTTALEB, A. A. **Heterosis and combining ability in grain sorghum under optimum and low level of nitrogen**. 2009. Thesis (Ph. D. of Agriculture) - Assiut University, Egypt, 2009.

ALMEIDA FILHO, J.E.; TARDIN, F.D.; SOUZA, S.A.; GODINHO, V.P.C.; CARDOSO, M.J. Desempenho agronômico e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, p .51-64, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos – Safra 2016/17**. v.4, n. 12. Décimo Segundo Levantamento, Brasília: CONAB, 2017.

CLIMATE-DATA.org/ AM OP/ Open Street Map contributors, 2018.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

ESSA, H.M.H. **Breeding grain sorghum for drought tolerance**. 2009. Thesis (Faculty of Agriculture) - Ain Shams University, Egypt, 2009.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, p.463-493, 1956.

KUMAR, A.A.; REDDY, B.V.S.; SHARMA, H.C.; HASH, C.T.; RAO, P.S.; RAMAIAH, B.; REDDY, O.S. Recent advances in sorghum genetic enhancement research at ICRISAT. **American Journal of Plant Sciences**, v.2, p. 589-600, 2011.

KUNZ, D. L; AGUIAR, C. G de; RODOVALHO, M. A. Avaliação dialélica parcial de linhagens de milho para região oeste do Paraná. **Revista cultivando o saber**, p.98-108, 2015.

MAHDY, E. E; ALI, M. A; MAHMOUD, A. M. The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Asian Journal of Crop Science**,v.3, n.1, p.1-15, 2011.

MENEZES, C.B.; CARVALHO JÚNIOR, G.A. de; SILVA, L.A.; BERNARDINO, K.C.; SOUZA, V. F.; TARDIN, F.D.; SCHAFFERT, R.E. Combining ability of grain sorghum lines selected for aluminum tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.14, n.1, p.42-48, 2014.

MENEZES, C.B de.; SANTOS, C.V dos.; SALDANHA, D.C.; JÚLIO, P.M.; SILVA, K.J da.; SILVA, C.H.T e.; RODRIGUES, J.A.S. Capacidade combinatória de linhagens e seleção de híbridos de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 509-523, 2017.

OLIBONI, R; VENTURA, F.M; NEUMANN, M; VILELA, R.J.T; MENDES, B.G; GALLO, T.R; FALKEMBACK, O.D. Análise dialéctica na avaliação do potencial de híbridos de milho para a geração de populações-base para obtenção de linhagens **Semina**, v.34, n.1, p.7-17, 2013.

PRAKASH, R; GANESAMURTHY, K; NIRMALAKUMARI, A; NAGARAJAN, P. Combining ability for fodder yield and its components in Sorghum (*Sorghum bicolor* L). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v.1, n.2, p.124-128, 2010.

TARDIN, F.D.; ALMEIDA FILHO, J.E. de.; OLIVEIRA, C.M. de.; LEITE, C.D.P. do.; MENEZES, C.B. de.; 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.

ZANATTO, I.B.; SPONCHIADO, S.; TEODORO, P.E.; SILVA, K.J. da.; MENEZES, C.B. de.; TARDIN, F.D. Identificação de caracteres relacionados à precocidade e produtividade em híbridos de sorgo via correlações canônicas. **Revista Científica Intelletto**, v.1, n.1, 2016 p. 89-94.

CAPÍTULO 2

USO DO MÉTODO GGE BILOT PARA ANÁLISES DA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE SORGO GRANÍFERO

RESUMO

O sorgo é uma cultura que adapta a vários tipos de ambientes, alguns dos quais desfavoráveis para a maioria dos cereais, sendo importante estudar o desempenho dos híbridos em vários locais, para selecionar aqueles mais adaptados e estáveis. O trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de híbridos de sorgo granífero nas diferentes condições de ambiente das áreas de produção da cultura. Os ensaios foram conduzidos na safrinha de 2017, em sistema de plantio direto em quatro ambientes, Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Teresina-PI e Sinop-MT. Foi empregado em todos os experimentos, o delineamento experimental em blocos casualizados, e três repetições. Os experimentos foram constituídos por trinta e seis híbridos de sorgo granífero, entre eles 31 experimentais desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo e cinco híbridos comerciais utilizados como testemunha. As características avaliadas foram florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos. A análise de variância conjunta constatou interação entre ambientes e híbridos significativa para a característica produtividade de grãos, o que justifica o uso das análises de adaptabilidade e estabilidade, para a identificação de genótipos estáveis adaptados aos ambientes de interesse. Os parâmetros gerados pelo método GGE biplot sugerem que os híbridos promissores quanto às características avaliadas foram 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 e 1G100.

Palavras-chave: ambiente favorável, produtividade, interações

ABSTRACT

THE USE OF GGE BILOT METHOD TO ADAPTABILITY AND STABILITY ANALYSIS OF GRAIN SORGHUM HYBRIDS

Sorghum is a culture that can adapt in several types of environments, in which some of them are unfavorable to most grains, being important the study of hybrid performance in several places to select the most adapted and stable. This work aimed the analysis of grain sorghum hybrid behavior in different environmental conditions in the culture production area. The trials were taken in 2017 off-season, in direct sowing system in four environments: Rio Verde-GO, Sete Lagoas-MG, Teresina-PI and Sinop-MT. The experiment was led into randomized block designs with three repetitions. There were thirty-six hybrids of grain sorghum in the trials, being thirty-one trials developed by Embrapa Corn&Sorghum and five market hybrids as a testify. The characteristics evaluated were: flowering, plant height and grain productivity. The joint variance analysis confirmed the interaction between environment and hybrid in grain productivity, explaining the use of the analysis of adaptability and stability to identify stable genotype adapted in the wanted environment. The indicators brought by the GGE biplot method suggest that the promising hybrids according to the characteristics evaluated were: 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 and 1G100.

Key-words: fortunate environment, productivity, interactions.

1 INTRODUÇÃO

A crescente expansão do cultivo do sorgo granífero em sucessão às culturas de verão gera a busca por cultivares produtivas e adaptadas às condições predominantes nas regiões de plantio. Já que nesta época a segunda safra, ocorre aproveitando as chuvas do final do verão e início do outono em que, geralmente apresentam distribuição de chuvas instáveis e, muitas vezes, insuficientes que pode proporcionar uma perda na produtividade dos grãos. Assim, com a finalidade de buscar maior rentabilidade por área, o cultivo do sorgo é impulsionado, sendo que o mesmo possui importantes características xerófitas que o tornam propício para o seu uso nessa época (Almeida Filho et al., 2010).

Desta forma, um híbrido promissor deve apresentar desempenho consistentemente superior e previsível em uma série de ambientes. Assim, no estágio final de um programa de melhoramento, torna-se fundamental a avaliação do comportamento dos genótipos, em vários locais e anos. Assim, as cultivares adaptadas aos sistemas de produção e ao ambiente de cultivo, além do manejo adequado da cultura, constitui fator importante para a maximização da produtividade de grãos (Almeida Filho et al., 2010; Silva et al., 2016).

Na avaliação dos genótipos é comum existir uma interação significativa entre genótipos e ambientes (GxA), permitindo assim, as análises de adaptabilidade e estabilidade, sendo procedimentos estatísticos identificando as cultivares de comportamento mais estáveis e que respondem previsivelmente, às variações ambientais (Silva et al., 2016).

De acordo com Menezes et al. (2015) vários métodos, baseados em diferentes princípios, foram descritos para avaliação da interação GA e para a determinação da adaptabilidade e da estabilidade fenotípica. Entre as metodologias existentes o modelo GGE biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction), considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipos e ambientes, agrupando o efeito aditivo do genótipo, com o efeito multiplicativo da interação GA, e submete estes, à análise de componentes principais (Silva & Benin, 2012).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho, foi avaliar o comportamento de híbridos de sorgo granífero, nas diferentes condições de ambiente das áreas de produção da cultura, utilizando o método de GGE biplot.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Locais de condução experimental

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), 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), 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) na estação experimental da EMBRAPA Agrossilvipastoril em Sinop – MT (384m de altitude, 11°52'27'' S e 55°30'22'' O).

2.2 Plano experimental e condução

Foi empregado em todos os experimentos, o delineamento experimental em blocos casualizados, e três repetições. As parcelas experimentais se constituíram de duas fileiras de 5m de comprimento, espaçadas de 0,50 m entre si.

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. A população final foi de aproximadamente 180 mil plantas por hectare, após a realização do desbaste. E a colheita dos experimentos foi realizada em julho de 2017, sendo em Rio Verde e Sinop dia doze, Sete Lagoas dia vinte e oito e Teresina dia vinte e cinco.

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).

2.2.1 Características agronômicas dos híbridos comerciais

- O BRS 373 é um híbrido de sorgo granífero desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo, especialmente, para os plantios em sistemas de sucessão à soja. Seu ciclo é superprecoce, florescimento de 60 dias, altura de 115 cm, possuindo alta produtividade, estabilidade e ampla adaptação (regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste do Brasil e Oeste Baiano) e boa resistência às principais doenças, da cultura do sorgo.

- O BRS 330 é um híbrido de sorgo granífero, sem tanino, grão de cor vermelha, ciclo de 120 dias, altura de 127 cm e resistente ao acamamento. Uma das características que chama a atenção é a sua estabilidade de produção. Sua tolerância ao alumínio tóxico no solo possibilita um bom desenvolvimento radicular, permitindo melhor absorção de nutrientes e extração de água, em camadas mais profundas, o que garante maior resistência ao déficit hídrico. É recomendado para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, em plantios de sucessão às culturas de verão.

- O 1G100 é um híbrido de sorgo granífero, em que seu ciclo é superprecoce, possuindo um porte baixo, altura de 115 cm (uniforme), o colmo é vigoroso e tolerante ao acamamento no sistema radicular é extenso e profundo, com tolerância ao alumínio tóxico, proporcionando maior resistência à seca. O grão é castanho-escuro, sem tanino, ciclo de colheita de 115 a 120 dias e o florescimento de 59 dias.

- O 1G220 é um híbrido granífero, seu ciclo é precoce, com o porte baixo, altura de 115 cm (uniforme), o colmo é vigoroso e tolerante ao acamamento o sistema radicular é extenso e profundo . O grão é castanho-escuro, sem tanino, ciclo de colheita de 120 a 130 dias e o florescimento de 64 dias.

- O Fox é um híbrido de sorgo granífero, o seu ciclo é superprecoce, o grão é castanho claro e a altura varia de 130 cm a 140 cm e o ciclo da colheita de 122 a 125 dias e florescimento de 55 a 68 dias.

2.3 Características avaliadas

- Florescimento: considerando o número de dias da semeadura, até o florescimento, o qual será definido quando, na parcela, em mais de 50% das plantas, as flores do terço médio da panícula entraram em antese.

- Altura de planta: medida em centímetros da superfície do solo ao ápice da panícula, considerando amostra de dez plantas por parcela.
- 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 $t \text{ ha}^{-1}$ e corrigidos a 13% de umidade.

2.4 Análises estatísticas

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 ; $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

O modelo estatístico adotado para análise de variância conjunta, considerando todos os experimentos, foi: $Y_{ijk} = \mu + B_k(A_j) + G_i + A_j + G_i A_j + \varepsilon_{ijk}$; sendo $B_k(A_j)$ o efeito aleatório do bloco k no ambiente j ; A_j o efeito aleatório do j -ésimo ambiente; $G_i A_j$ 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 ; $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Para o agrupamento de médias dos genótipos, foi utilizado o teste de Scott e Knott, 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, 2001).

O modelo biplot GGE utilizado foi: $Y_{ij} - \mu - \beta_j = y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$, sendo Y_{ij} é o rendimento médio de grãos do genótipo i no ambiente j ; μ é a média geral de observações; β_j é o principal efeito do meio ambiente; y_1 e y_2 são os erros associados a Primeiro (PC1) e segundo componente principal (PC2), respectivamente; ε_{i1} e ε_{i2} são 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).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que houve diferença significativa para todas as características avaliadas nos ambientes, híbridos e interação ambientes x híbridos, (Tabela 13). A significância entre ambientes x híbridos demonstra que há variabilidade genética e fenotípica, entre os híbridos testados, as quais influenciaram no comportamento diferenciado, quanto à produtividade de grãos de sorgo granífero, assim como também, 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), Sete Lagoas de 62 dias (FOX) até 76 dias (1610029) e Teresina de 52 dias (1516045 e 1516053) até 64 dias (1G220) (Tabela 14).

Os híbridos, 1516035 e 1516053 foram os que apresentaram um florescimento inferior ou seja, precoce na maioria dos ambientes, não diferindo das testemunhas 1G100 e FOX que são híbridos comerciais, por apresentarem características desejadas por produtor, como um ciclo mais precoce. No entanto, os híbridos 1420020 e a testemunha BRS373 foram tardios em todos os ambientes, já os híbridos 1610001, 1610033 e o 1610051 foram na maioria dos ambientes, apesar da testemunha ter a característica de maior precocidade, ela não diferiu das demais que foram tardias.

Tabela 13. 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 (kg/ha)
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% de probabilidade pelo teste F.

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 cultivares, com diferentes épocas de florescimento disponíveis para o agricultor, para que o mesmo possa diversificar os genótipos a serem semeados, e favorecer o escalonamento da colheita. Assim, o agricultor tem a opção de semear cultivares tardias no início da safra e mais precoces no final da janela de semeadura (Almeida et al., 2014).

A precocidade é uma característica interessante para cultivares de sorgo granífero, pois, como o cultivo dessa cultura é realizado principalmente na safrinha, com a janela de plantio curta, indo de meados de fevereiro a meados de março, nas principais regiões de plantio, sendo que nas mesmas ocorre à distribuição irregular das chuvas, é importante que a cultura permaneça o menor tempo possível em condições adversas. Quando semeado dentro desta faixa o sorgo ainda terá chuvas, até o seu florescimento, que ocorrerá em maio. No entanto, plantio do sorgo para o final de março, aumenta o risco de perdas de produtividade, pois têm grande possibilidade de sofrer estresse hídrico, após o florescimento da cultura (Tardin et al., 2013; Menezes et al., 2015).

O sorgo é uma cultura de dias curtos (Parrela et al., 2010), ou seja em locais que possuem baixa latitude, os genótipos tendem a ser mais precoces, como em Teresina em que a média geral foi de 57 dias, sendo também inferior a média dos híbridos.

Outros fatores que interferem no florescimento é o estresse hídrico durante a fase vegetativa e a temperatura, que sendo alta antecipa a antese do sorgo e baixa atrasa o florescimento. Foi o que aconteceu em Sete Lagoas com uma elevada média, em que apenas um híbrido (1610009) e três testemunhas comerciais (1G100, 1G220 e FOX), diferenciaram dos demais como precoces, pois a média da temperatura durante a fase vegetativa foi de 18,6° chegando até 11°. Em Rio Verde o ciclo também foi mais tardio, em relação à Sinop e Teresina, devido à temperatura baixa e chuva, ocorrendo o aparecimento da doença Ergot, em híbridos mais sensíveis.

Altura ideal da planta de sorgo granífero é de 1,00 a 1,50m, sendo menor que isto diminui a produtividade, que geralmente está correlacionada com a altura, e maior que este valor, as plantas podem acamar, por não suportarem as panículas grandes.

Observa-se que houve diferença significativa, para altura de plantas, em todos os ambientes. Em Rio Verde apesar de todos os híbridos apresentarem a altura ideal, apenas quatro híbridos (1610051, 1610055, 1619044 e 1621043) obtiveram menor porte em relação aos demais e não diferiram entre si. Já em Sinop, três híbridos (1610049, 1610055 e 1619044), e uma testemunha a BRS373 se destacaram e diferiram dos demais com o menor porte. E o híbrido 1619044 apesar de não diferenciar estatisticamente da BRS373, apresentou uma altura inferior à testemunha (Tabela 15).

Em Sete Lagoas nove híbridos e uma testemunha diferiram significativamente dos demais, apresentando menor altura. Em Teresina, apenas o híbrido 1420020 foi superior a 1,00 m, sendo os demais inferiores a este valor.

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.

Os híbridos que obtiveram melhor porte em mais de um ambiente foram 1610011, 1610027, 1610043, 1610049, 1610051, 1621043 e a testemunha BRS373 porém, os híbridos 1610055 e 1619044 se destacaram nos quatro ambientes avaliados.

Tabela 14. 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

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	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

Pode-se observar uma diferença significativa na produtividade, em todos os ambientes. A média geral de produtividade de grãos em Rio Verde foi de 4,74 t ha⁻¹ e o híbrido que obteve maior produtividade neste ambiente foi o 1610011 com 6,78 t ha⁻¹ porém este não diferiu significativamente, de outros 18 híbridos e duas testemunhas (1G100 e 1G220) que apresentaram médias inferiores ao mais produtivo (Tabela 16)

Em Sinop as médias variaram de 0,45 t ha⁻¹ do híbrido 1528039 até 4,70 t ha⁻¹ do híbrido 1610029 t ha⁻¹, que foi a mais alta não diferindo de outros híbridos e nem da testemunha BRS330.

A maior média de produtividade em Sete Lagoas foi de 7,73 t ha⁻¹ do híbrido 1610006, seguido do híbrido comercial 1G100 (6,84 t ha⁻¹) que apresentou valores de produtividade maiores que 8 híbridos, mas que não apresentaram diferenças significativas.

No experimento conduzido em Teresina 20 híbridos experimentais e três comerciais apresentaram as maiores produtividades e não diferiram entre si. No entanto, a maior média de produtividade foi do híbrido 1310039 com 6,28 t ha⁻¹, sendo que este e outros híbridos apresentaram valores superiores às três testemunhas.

Ao analisar a média geral de produtividade de grãos de cada híbrido, observa-se que dois apresentaram as maiores médias, tanto dos híbridos experimentais, quanto comerciais e valores significativos, em todos os ambientes, sendo eles o 1610001 e o 1610006. Em seguida a testemunha 1G100 que se destacou na maioria dos ambientes e apresentou a terceira maior média.

Os híbridos que tiveram produtividade significativa na maioria dos 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. Estes híbridos que se destacaram na maioria dos ambientes ou em todos, apresentam maior potencial produtivo e os resultados sugerem que apresentam maior capacidade de adaptação nos ambientes de cultivo desta cultura.

Tabela15. 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

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	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

A maior parte dos híbridos apresentou média de produtividade acima da média nacional do ano agrícola de 2017 que foi de 2,85 t ha⁻¹ (Conab, 2018). E 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 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 seu determinado ambiente, sendo eles o 1610051 em Rio Verde e o 1516045, 1516053, 1527019 e FOX em Teresina.

E apenas dois híbridos experimentais se destacaram na maioria dos ambientes, para todas as características avaliadas o 1610051 em Rio Verde, Sete Lagoas e Teresina e o 1610055 em Rio Verde, Sinop e Teresina.

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

Esta análise foi feita através do método GGE biplot que agrupa o efeito aditivo do genótipo, com o efeito multiplicativo da interação GxA, e submete estes 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 e 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 et al., 2007).

Tabela 16. 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

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	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Scott-knott, a 5% de probabilidade

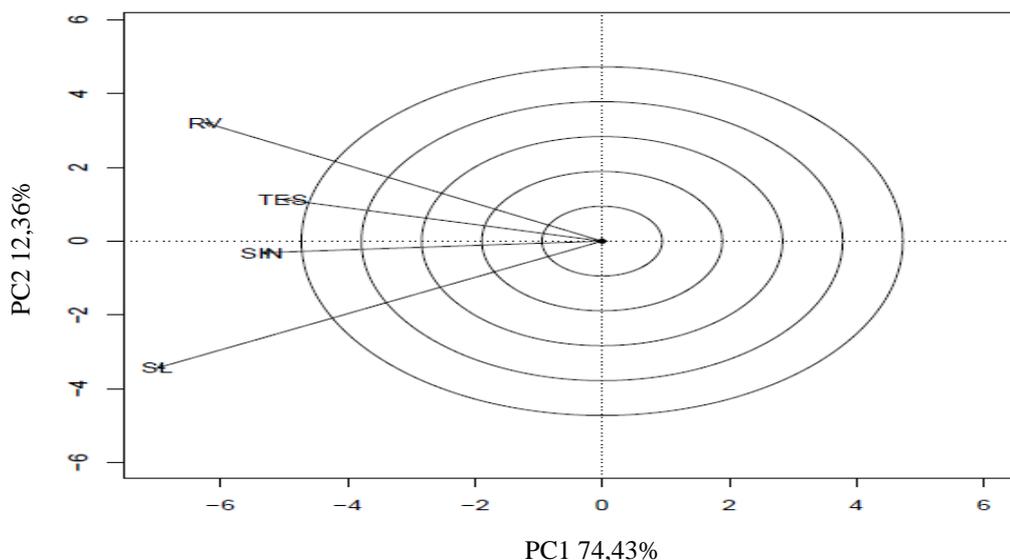


Figura 1. Relação entre os ambientes obtidos pelo modelo GGE biplot para produtividade de grãos de trinta e seis híbridos de sorgo cultivados em, Rio Verde-GO, Teresina-PI, Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

O método GGE biplot, é 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 1). 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. Segundo Yang et al. (2009), 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. Além disso, Rio Verde e Sete Lagoas foram os ambientes, que apresentaram o maior vetor, sendo os ambientes que mais contribuíram para a interação GxA (Figura 1).

A presença de ângulos largos e obtusos entre os ambientes de teste é uma indicação de interação GxA, ou seja quanto menor o ângulo entre os ambientes, mais estáveis eles são

(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 2).

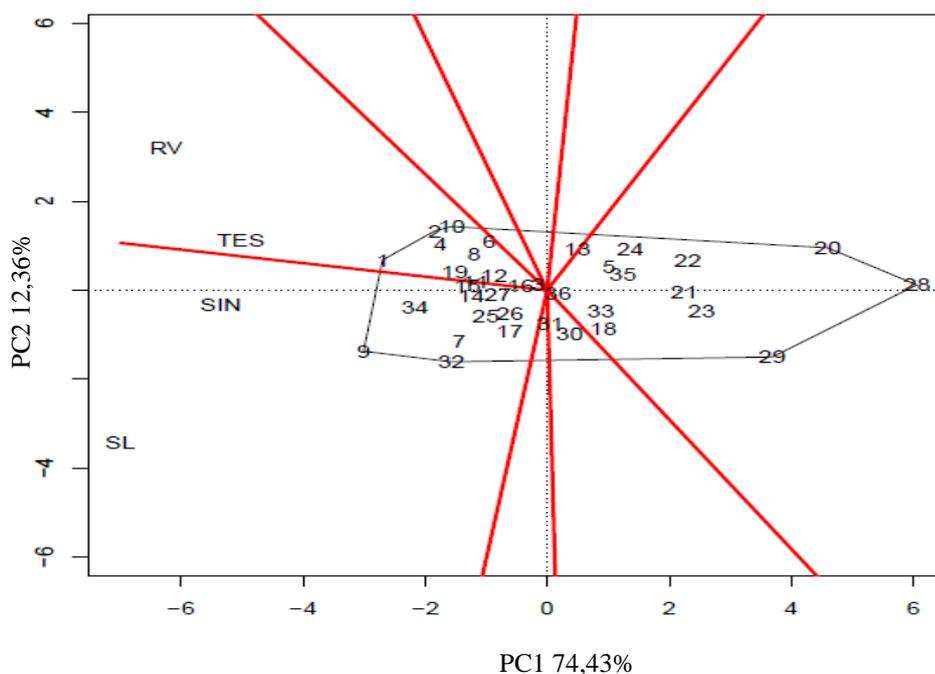


Figura 2. Polígono do GGE biplot representando o gráfico *quem venceu onde*, para os trinta e seis híbridos em Rio Verde-GO, Teresina-PI, Sinop-MT e Sete Lagoas-MG. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 16.

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

Em relação ao desempenho dos híbridos nos ambientes de experimentação, uma característica interessante é que o híbrido que se encontra no vértice do polígono, dentro de um mega-ambiente, obteve a maior produtividade e adaptabilidade, em pelo menos um dos ambientes e esteve dentre os melhores híbridos nos ambientes restantes (Yan, 2002).

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 esse 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. 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 junto com os demais 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 e não possuem ambientes, são considerados desfavoráveis aos ambientes testados, especialmente, por baixa produtividade (Karimizadeh et al., 2013).

Outra forma de visualizar a adaptabilidade e estabilidade é através da figura 3, em que se observa 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, e a seta aponta para um maior desempenho médio para os híbridos. Quanto maior a distância de projeção do híbrido em relação 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 3).

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. As comparações das médias tanto para maior ou menor produtividade são observadas na tabela 4.

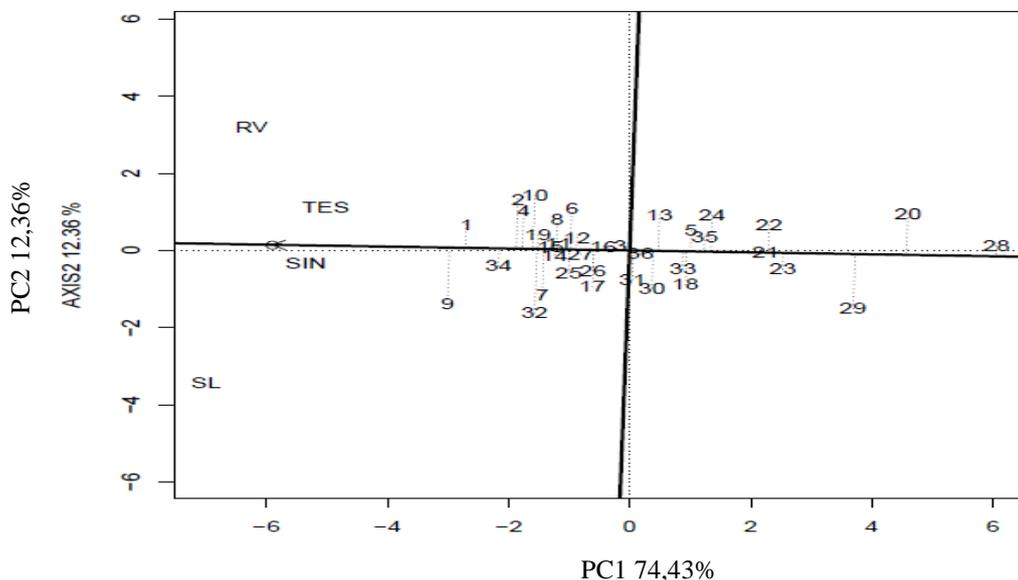


Figura 3. Médias x estabilidade do GGE biplot, indicando o ranking de produtividade dos híbridos, mais suas respectivas estabilidades produtivas. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 16.

Um híbrido é mais promissor se ele estiver localizado o mais próximo possível do genótipo ideal, e quanto mais próximo do centro dos círculos concêntricos, mais útil é o híbrido, o que significa que apresenta alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade (Yan, 2011).

O híbrido ideal é o 1 (1610001) que está contido dentro do 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 4).

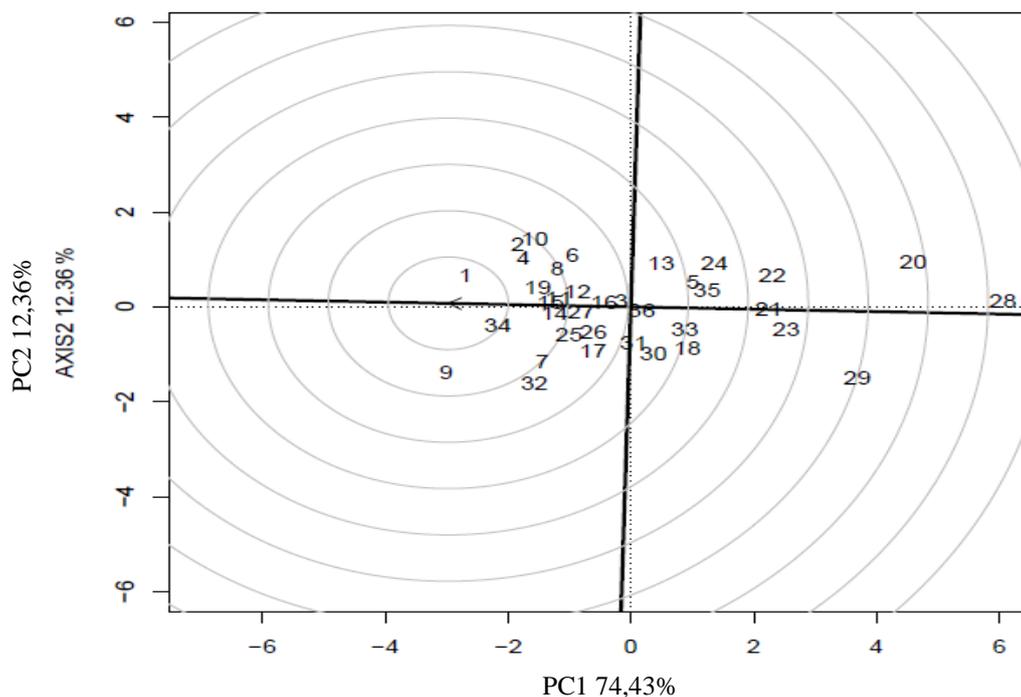


Figura 4. Modelo do GGE biplot comparando os híbridos avaliados com a estimativa de um híbrido ideal. Os códigos dos híbridos estão presentes na Tabela 16.

Analisando as tabelas de médias das características avaliadas e as figuras, observou-se que dos 36 híbridos avaliados, 12 deles sendo 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 e 1G100, foram os que apresentaram melhor produtividade, adaptabilidade e estabilidade.

Em geral todos os híbridos apresentaram baixa variação em relação ao ciclo, e ao porte da planta, que mantiveram-se dentro dos padrões desejados pelos agricultores, porém os híbridos experimentais 1527025, 1610011, 1610051, 1610055 retrataram um porte mais baixo do que o híbrido comercial 1G100, sendo à única testemunha que se aproximou do híbrido ideal. Sendo que esta também apresenta alta produtividade, perdendo apenas, para os híbridos 1610006 e 1610001.

4 CONCLUSÕES

Houve significância para a interação entre ambientes x híbridos, o que indica que os híbridos apresentaram respostas diferenciadas, em cada ambiente de avaliação, justificando assim, o uso das análises de adaptabilidade e estabilidade para identificar híbridos estáveis que são adaptados aos ambientes de interesse.

Os híbridos que apresentaram melhor produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade fenotípica foram 1610001, 1610011, 1610039, 1610051, 1610055, 1610006, 1516049, 1527025, 1527019, 1610009, 1610041 e a 1G100.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, J. E. A de; TARDIN, F. D; SOUZA, S. A de; GODINHO, V. P. C de; CARDOSO, M. J. Desempenho agrônomo e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 1, p. 51-64, 2010.

ALMEIDA FILHO, J. E. A. de.; TARDIN, F. D.; DAHER, R. F.; SILVA, K. J. da.; XAVIER NETO, J. B.; BASTOS, E.; LOPES, V. S. da.; BARBÉ, T. C. da.; MENEZES, C. B. de. Avaliação agrônomo 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.

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.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra Brasileira de Grãos: Safra 2017/18**. v. 5, n. 10, Brasília: Conab, 2018. 178p.

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

CRUZ, C. D. **Programa genes – biometria**. Viçosa, MG:UFV, 2006. 382p.

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

HONGYU, K.; SILVA, F. L. de; OLIVEIRA, A. C. S. de; SARTI, D. A.; ARAUJO, L. B. de; 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.

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.

PARRELLA, R. A. C. da; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28)

SILVA, R.R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.

SILVA, K. J. da; MENEZES, C. B. de; TARDIN, F. D.; SILVA, A. R. da; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; GODINHO, V. P. C. de. Seleção para produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 335-345, 2016.

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. da; MENEZES, C. B. de; TARDIN, F. D.; MARTIEMYGDIO, B.; SOUZA, V. F. de; CARVALHO, G. A. de; 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.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E. de; OLIVEIRA, C. M. de; LEITE, C. D. P. do; MENEZES, C. B. de; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agrônômica 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.

YAN, W. GGE biplot - a windows application for graphical analysis of multi environmental trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1111-1118, 2001.

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.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643-653, 2007.

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.

YANG, R. C.; CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; BURGUEÑO, J. Biplot analysis of genotype x environment interaction: proceed with caution. **Crop Science**, v. 49, n. 5, p. 1564-1576, 2009.

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