

ARTHUR MAYRINK ELIZEU

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E DIVERSIDADE GENÉTICA EM SORGO
GRANÍFERO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

E43c
2018 Elizeu, Arthur Mayrink, 1992-
Capacidade combinatória e diversidade genética em sorgo
granífero / Arthur Mayrink Elizeu. – Viçosa, MG, 2018.
xi, 36 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Lopes Bhering.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 32-36.

1. Sorgo - Melhoramento genético. 2. Diversidade genética.
3. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de
Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

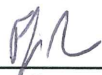
CDD 22. ed. 633.17

ARTHUR MAYRINK ELIZEU

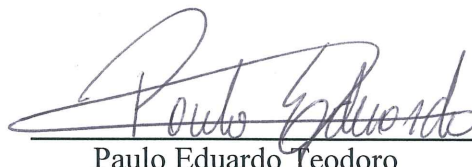
**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E DIVERSIDADE GENÉTICA EM SORGO
GRANÍFERO**

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

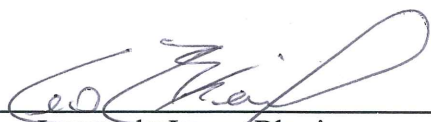
APROVADA: 30 de julho de 2018.



Felipe Lopes da Silva



Paulo Eduardo Teodoro



Leonardo Lopes Bhering
(Orientador)

A Deus, por guiar meus passos.

OFEREÇO

Aos meus pais, Fernando e Myrian, que com todo incentivo e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui e por prover um bem tão precioso, o conhecimento.

A Danúbia, por sempre estar ao meu lado. Por todo amor, carinho, companheirismo e apoio, nos momentos bons e nos difíceis.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me mostrar que tudo no seu tempo dá certo.

Aos meus pais, Fernando e Myrian, por todos os ensinamentos, apoio e carinho, e não medirem esforços para que meus sonhos se realizassem.

Ao meu irmão, Igor, por sempre estar ao meu lado, mesmo que de longe, dando apoio e incentivo.

A toda minha família, em especial minhas avós Graça e Dilene, que sempre me apoiaram com muito carinho em minha jornada.

A Danúbia, por todo amor, companheirismo, apoio e incentivo ao longo de tantos anos, sempre acreditando no meu potencial.

A todos os meus amigos, que me fizeram sorrir vários momentos e se mantiveram presentes, mesmo de longe.

Ao meu orientador Dr. Leonardo Lopes Bhering, pelo exemplo, apoio, amizade, por ser sempre acessível e por todos os conhecimentos transmitidos.

A Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Agrossilvipastoril e ao Pesquisador Dr. Flávio Dessaune Tardin pela disponibilização de dados para elaboração desta dissertação.

Aos membros da banca, por todas as contribuições para a melhoria deste trabalho.

Ao amigo e pesquisador Dr. Leonardo Peixoto pela amizade e por toda ajuda na fase inicial do meu mestrado.

A amiga Dra. Erina Rodrigues por toda disponibilidade, compreensão, amizade e por ser um exemplo de pessoa.

A amiga Dra. Lidiane Silva, por sempre estar disponível para contribuir com correções e ajudar com as dúvidas que surgiram.

Aos amigos do Laboratório de Biometria Bruno Lopes, Larissa Ribeiro, Paulo Teodoro, Igor Coelho, Juan Vicente, Andreia Schuster, Jeniffer Santana, Michele Brandão e demais colegas pelo companheirismo e amizade.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento, pela excelência em ensino.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica.

Aos secretários do PPGGM, Marco Tulio e Odilon, por todos os serviços prestados durante o mestrado, com dedicação e boa vontade.

A professora Dra. Mara Tavares pelo apoio e amizade desde a graduação.

A todos que não foram mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional. Meus sinceros agradecimentos.

“Inteligência é a capacidade de se adaptar à mudança.”

Stephen Hawking

BIOGRAFIA

Arthur Mayrink Elizeu, filho de Fernando César Correa Elizeu e Myrian Imaculada Barroso Mayrink Elizeu, nasceu na cidade de Muriaé, Minas Gerais, Brasil, em 01 de março de 1992.

Em janeiro de 2016 obteve o título de Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais Brasil e iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de dissertação em julho de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cultura e melhoramento do sorgo	3
2.2. Diversidade Genética	7
2.3. Dialelo	8
3. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo geral.....	11
3.2. Objetivos específicos.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Caracterização do experimento	12
4.2. Análises genético-estatísticas.....	13
4.2.1. Análise Dialélica	13
4.2.2. Precisão experimental	14
4.2.3. Teste Scott e Knott	14
4.2.4. Estimativa de diversidade genética	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6. CONCLUSÕES.....	31
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

ELIZEU, Arthur Mayrink, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Capacidade combinatória e diversidade genética em sorgo granífero.** Orientador: Leonardo Lopes Bhering.

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma *poaceae* de origem africana de grande importância econômica, sendo utilizada como fonte de alimentação humana em alguns países e na produção de ração animal, além de estar relacionada à produção de farinha e álcool com os grãos de forragem ou cobertura de solo com a palhada. Vantagens como a boa adaptação a ambientes com déficit hídrico e com altas temperaturas, faz com que o sorgo seja visto com uma cultura promissora para cultivo na segunda safra (safrinha), substituindo, parcialmente, o milho, com menores riscos. Visando a obtenção de linhagens promissoras para um programa de melhoramento, os objetivos deste trabalho foram: i) estimar os efeitos genéticos envolvidos no controle das características avaliadas; ii) identificar genitores e combinações superiores que possuam alta produtividade e redução tanto na altura quanto nos dias para florescimento; iii) estimar a diversidade genética entre genótipos de sorgo; iv) recomendar linhagens promissoras com base na diversidade genética e capacidade de combinação dos genitores, visando a obtenção de híbridos agronomicamente superiores. Dessa forma, foram avaliados 42 híbridos provenientes do cruzamento de 13 linhagens de sorgo granífero (sete linhagens R e seis linhagens A) em experimentos conduzidos em Sinop, Mato grosso, no ano de 2012. As características avaliadas foram: dias para florescimento (FLO), altura de plantas (AP), acamamento (ACAM), incidência de antracnose (ANT), *stay green* (SG) e produtividade de grãos (PROD). Para a análise dialélica, adotou-se o método 4 de Griffing (1962) adaptado a dialelos parciais. As análises de diversidade genética realizadas foram o método UPGMA e agrupamento de Tocher modificado. A análise dialélica apresentou efeitos significativos para híbridos, evidenciando a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados. As estimativas de CGC das linhagens R e A foram significativas para a maioria das características, enquanto a CEC foi não significativa para SG e PROD. As análises de diversidade genética mostraram uma concordância entre os dois métodos utilizados. De forma geral, os nove grupos formados pelo método de Tocher modificado foram agrupados em 4 grupos maiores pelo método UPGMA, sem que houvesse divisão dos híbridos de cada grupo. As características que mais contribuíram para a diversidade genética foram ALT, FLO e

PROD. Os genitores 3 e 5 utilizados como linhagem R e 1 e 6 do grupo de linhagens A foram os mais promissores. Os efeitos aditivos foram mais importantes do que os efeitos não aditivos para a maioria das características. Os híbridos H₁₁, H₃₄, H₃₆ e H₅₆ são os mais indicados para o cultivo na região avaliada, pois possuem pelo menos um genitor com estimativas favoráveis de CGC, além de apresentarem boa estimativa de CEC para as características de interesse. Portanto, as análises de capacidade de combinação e diversidade genética foram eficientes na identificação de genitores e recomendação de híbridos agronomicamente superiores, demonstrando ser importantes em programas de melhoramento genético de sorgo granífero.

ABSTRACT

ELIZEU, Arthur Mayrink, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Combining ability and genetic diversity of grain sorghum.** Adviser: Leonardo Lopes Bhering.

Sorghum bicolor (L.) Moench is a African poaceae origin of great economic importance, being used as a source of human food in some countries and in the animal feed production, besides being related to the production of flour and alcohol with the grains or soil cover with the straw. Advantages such as good adaptation to environments with water deficit and high temperatures, causes sorghum to be promising for the second crop, partially replacing corn, with lower risks. In order to obtain promising lines for a breeding program, the objectives of this work were: i) to estimate the genetic effects involved in controlling the traits evaluated; ii) to identify superior parents and combinations that have high productivity and reduction both in height and in days for flowering; (iii) to estimate the genetic diversity among sorghum genotypes; (iv) to recommend promising lines based on genetic diversity and combining ability of the parents to obtain agronomically superior hybrids. In this way, 42 hybrids from the crossing of 13 lines of sorghum (seven R lines and six lines A) were evaluated in experiments conducted in Sinop, Mato Grosso, in the year 2012. The evaluated traits were: days for flowering (FLO), plant height (AP), lodging (ACAM), incidence of anthracnose (ANT), *stay green* (SG) and grain yield (PROD). For the diallel analysis, the Griffing method (1962) was adapted to partial diallel. The analyzes of genetic diversity used were UPGMA method and modified Tocher grouping. Diallelic analysis showed significant effects for hybrids, evidencing the existence of genetic variability among the evaluated genotypes. The GCA estimates of lines R and A were significant for most of the traits, while SCA was not significant for SG and PROD. The analyzes of genetic diversity showed a concordance between the two methods used. In general, the nine groups formed by the modified Tocher method were grouped in 4 larger groups by the UPGMA method, without dividing the hybrids of each group. The traits most that contributed to the genetic diversity were ALT, FLO and PROD. The parents 3 and 5 used as lines R as well 1 and 6 of group of lines A were the most promising. The additive effects were more important than the non-additive effects for most traits. Hybrids H₁₁, H₃₄, H₃₆ and H₅₆ are the most indicated for cultivation in the evaluated

region, since they have at least one parent with favorable GCA estimates and have a good estimate of SCA for the traits of interest. Therefore, combining ability and genetic diversity analyzes were efficient in the identification of parents and the recommendation of agronomically superior hybrids, proving to be important in breeding programs for grain sorghum.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma *Poaceae* de origem africana que possui ampla distribuição nas regiões tropicais e subtropicais (Clayton e Renvoize, 1986; Kumar et al., 2011). O sorgo é a principal fonte de alimento em grande parte dos países da África, do sul da Ásia e da América Central e tem grande importância na alimentação animal na Austrália, nos Estados Unidos e na América do Sul. Dentre as utilidades desta cultura estão a produção de farinha e álcool com os grãos e forragem ou cobertura de solo com a palhada (Santos et al., 2005).

No Brasil, o sorgo é cultivado desde o século XIX no Nordeste e, desde então, vem ganhando importância na agropecuária brasileira (Santos et al., 2005). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2015) relata que o investimento estabelecido pelo governo na produção e na utilização do sorgo no Brasil tem como objetivo aumentar a eficiência e a qualidade da cultura. Este investimento permite que o sorgo possa substituir, parcialmente, o milho em ração animal, uma vez que o seu cultivo é significativamente de menor custo.

Vantagens como boa adaptação à ambientes com déficit hídrico e com altas temperaturas, faz com que o sorgo seja visto como uma cultura promissora, muito utilizada para o cultivo na segunda safra (safrinha), substituindo o milho, com menores riscos. Além disso, o sorgo possui alta capacidade produtiva e elevado valor nutritivo (Santos et al., 2005; Von Pinho et al., 2007).

No período da safrinha, quando é realizada a semeadura do sorgo granífero, o volume de chuvas insuficientes pode alterar a demanda hídrica adequada para a cultura. Além disso, fatores ambientais como luminosidade e temperatura contribuem na variação dessa demanda. Nesse sentido a busca por cultivares comerciais de sorgo tolerantes ao estresse hídrico e que reúnam características como ciclo precoce, altura ideal para colheita e alta produtividade de grãos em diferentes regiões de cultivo tem sido o foco dos principais programas de melhoramento (Tardin et al., 2013; Teodoro et al., 2016).

O estudo da diversidade genética entre cultivares é importante nos programas de melhoramento para o direcionamento de hibridações, conhecimento do germoplasma disponível e organização dos recursos genéticos para aplicações no melhoramento de plantas (Silva, 2016). Existem vários métodos para quantificar a divergência genética

em populações de plantas, que possibilitam identificar genitores com características superiores desejáveis (Cruz et al., 2011).

As análises dialélicas também possibilitam escolher genitores promissores com base nas estimativas de capacidade de combinação, o que faz delas fundamentais para a tomada de decisão acerca da formação da população base. Além disso, essas análises permitem entender os efeitos genéticos envolvidos na determinação das características (Cruz e Vencovsky, 1989) sendo uma importante ferramenta em programas de melhoramento.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar linhagens promissoras que produzam híbridos com elevada produtividade de grãos, precocidade (ciclo menor que 60 dias para florescimento) e altura ideal visando colheita mecanizada (entre 1,0 m e 1,5 m). Assim como baixas notas para acamamento, baixa incidência de antracnose e baixas notas para *stay green*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura e melhoramento do sorgo

Apesar da origem africana do sorgo, as rotas comerciais permitiram que ele fosse difundido para vários lugares pelo mundo, como Oriente médio, Índia e China. Nas Américas ele chegou em meados do século XIX por meio do transporte de escravos (Santos et al., 2005).

As cultivares que são utilizadas atualmente já passaram por um processo de melhoramento para atender as necessidades agrícolas, nutricionais e econômicas até se tornarem um dos cereais mais plantados no Brasil, atrás apenas do milho, arroz e trigo (Menezes et al., 2015).

Segundo Ribas (2007), o sorgo pode ser agronomicamente classificado em quatro grupos: i) granífero; ii) forrageiro para silagem ou sacarino para a produção de etanol; iii) forrageiro para pastejo, corte verde, fenação e/ou cobertura morta; e iv) vassoura. O primeiro grupo compreende tipos de porte baixo (híbridos e variedades) adaptados à colheita mecânica. Já o segundo grupo inclui tipos de porte alto (híbridos e variedades) apropriados para produção de silagem e/ou produção de açúcar e álcool. O terceiro grupo é constituído principalmente por variedades de capim sudão ou híbridos interespecíficos de *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. O último grupo inclui sorgos cujas panículas são características para confecção de vassouras. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica (Ribas, 2007; Fao, 2018).

Segundo a Conab (2018), a área plantada com sorgo no Brasil é de 654,6 mil hectares distribuídos predominantemente nas regiões Centro-oeste e Sudeste. Além disso, estima-se que a produtividade na safra 2017/18 é de 2,9 kg ha⁻¹, sendo os estados de Goiás e Minas Gerais os maiores produtores da cultura.

Desde a década de 1990 já fora observado por Singh e Singh (1995) que o sorgo apresentava desempenho superior ao milho em condições de estresse hídrico. Dessa forma, devido a resistência à seca e tolerância à climas quentes, o sorgo vem sendo muito utilizado em sucessão de culturas na segunda safra, entre os meses de fevereiro a março (Conab, 2018). Além disso, características de importância agrônômica como produtividade de grãos, altura ideal visando colheita mecanizada e ciclo cada vez mais precoce tem sido o objetivo de programas de melhoramento genético na cultura do sorgo (Baumhardt et al., 2005; Baumhardt e Howell, 2006; Menezes et al., 2015).

Neste sentido, estudos sobre mudanças climáticas evidenciam aumento da temperatura do ar e fenômenos intercalados de excesso e falta de chuvas, confirmando a importância de desenvolver culturas mais tolerantes ao déficit hídrico.

Conhecer sobre as doenças que afetam a cultura tem sido importantes nos programas de melhoramento. A antracnose do sorgo é causada pelo fungo *Colletotrichum sublineolum* P. Henn e foi descrita pela primeira vez na cultura África, em 1902. No Brasil, a primeira ocorrência foi relatada no ano de 1934 no estado de São Paulo (Costa et al., 2013).

A antracnose é considerada uma das doenças mais destrutivas do sorgo, com perdas que chegam na marca de 50 a 70% da produtividade. A doença pode se desenvolver em qualquer estágio do ciclo da cultura, atacando as partes aéreas da planta e causando queima foliar, podridão do colmo, queima da panícula e grãos. Essas infecções contribuem para maior redução na produção e no peso dos grãos (Costa et al., 2013).

Outro problema bastante sério não só na cultura do sorgo, mas em várias plantas forrageiras é o acamamento. Este é responsável por aumento nos custos, devido ao aumento da mão-de-obra durante o corte e por perdas no campo (Molina et al., 2000).

As correlações entre altura da planta e produção são positivas e desejáveis, no entanto, as correlações entre altura da planta e porcentagem de acamamento são pouco desejáveis (Rocha Jr et al., 2000).

Geralmente, plantas mais altas com colmos mais finos são mais sensíveis ao acamamento devido à maior exposição da planta à força dos ventos (Albuquerque et al., 2012). Uma das características importantes na escolha de cultivares de sorgo granífero é aliar cultivares que apresentam menor altura de plantas, associada a maior resistência de colmo e que apresentem menor suscetibilidade ao acamamento ou quebra das plantas (Silva et al., 2009)

Denomina-se “*stay-green*” a característica em que plantas cujo colmo e as folhas permanecem verdes até o completo enchimento dos grãos (Guedes et al., 2007). Esta característica tem sido objeto de estudo visando promover uma progressiva redução da senescência em sorgo, resultando em efetivo aumento funcional da área foliar, na duração da capacidade fotossintética das folhas e colmos, após a maturidade fisiológica, promovendo maior enchimento do grão (Guedes et al., 2007).

O sorgo é uma espécie diploide ($2n = 2x = 20$ cromossomos) e seu principal mecanismo de reprodução é a autopolinização (Kumar et al., 2011). Entretanto, o

cultivo desta cultura baseia-se no uso de sementes híbridas, possuindo uma taxa de polinização cruzada de cerca de 6 a 30% (Gite, 2015). Dessa forma, mesmo sendo uma espécie autógama, o vigor híbrido é amplamente explorado nos programas de melhoramento (Kumar et al., 2011). A observação deste fenômeno foi descrita pela primeira vez por Conner e Karper (1927). Contudo, sua exploração comercial foi possível somente a partir de 1954, com a descoberta do sistema de macho-esterilidade genético-citoplasmática (Quinby, 1974).

A macho esterilidade citoplasmática é uma característica atribuída à interação entre genes mitocondriais e nucleares. Em geral, é causada por rearranjos no DNA mitocondrial, levando à formação de novas ORFs (*Open Reading Frame*) contendo fragmentos derivados de outros genes e/ou regiões não codificadoras. (Linke e Borner, 2005). Essas alterações podem provocar modificações na expressão de genes que estão relacionados com o desenvolvimento dos órgãos masculinos nas flores, levando-se assim à macho esterilidade (Chase, 2006). Porém, essa condição pode ser restaurada utilizando genes nucleares chamados de restauradores de fertilidades (Rf) (Pinto et al., 2012).

A esterilidade citoplasmática masculina em sorgo envolve o citoplasma milo (A1) e um fator nuclear kafir. Este é o principal método utilizado para a produção de sementes de híbridos no Brasil e no mundo (Reddy e Stenhouse, 1994). Os híbridos descendentes de plantas macho-estéreis possuem o citoplasma macho-estéril, mas dependendo dos genes nucleares presentes na planta usada como polinizadora, a fertilidade pode ser restaurada. A macho-esterilidade citoplasmática em sorgo é considerada de grande importância, uma vez que possibilita a produção econômica de sementes híbridas (Reddy e Ramesh, 2005).

O cruzamento para produção de híbridos (Figura 1) é feito entre uma linhagem *A*, produzida pelo cruzamento de plantas macho-estéreis, com uma linhagem isogênica de *A*, denominada *B*. As sementes provenientes do cruzamento entre *A* e *B*, serão estéreis. Para que seja recuperada a esterilidade, a linhagem *A* deve ser cruzada com uma linhagem restauradora de fertilidade denominada *R* (Parrella, et al., 2011). Portanto, para a produção de sementes híbridas de sorgo são necessárias duas gerações, uma para multiplicação das sementes das linhagens *A* e *R*, separadamente, e outra para produzir as sementes híbridas de *A* com *R* (Parrella et al., 2011). O desenvolvimento de um híbrido de sorgo envolve pelo menos quatro etapas: a escolha das populações, a

obtenção das linhagens, a avaliação da capacidade de combinação entre elas e o teste extensivo das combinações híbridas obtidas (Paterniani e Campos, 2005).

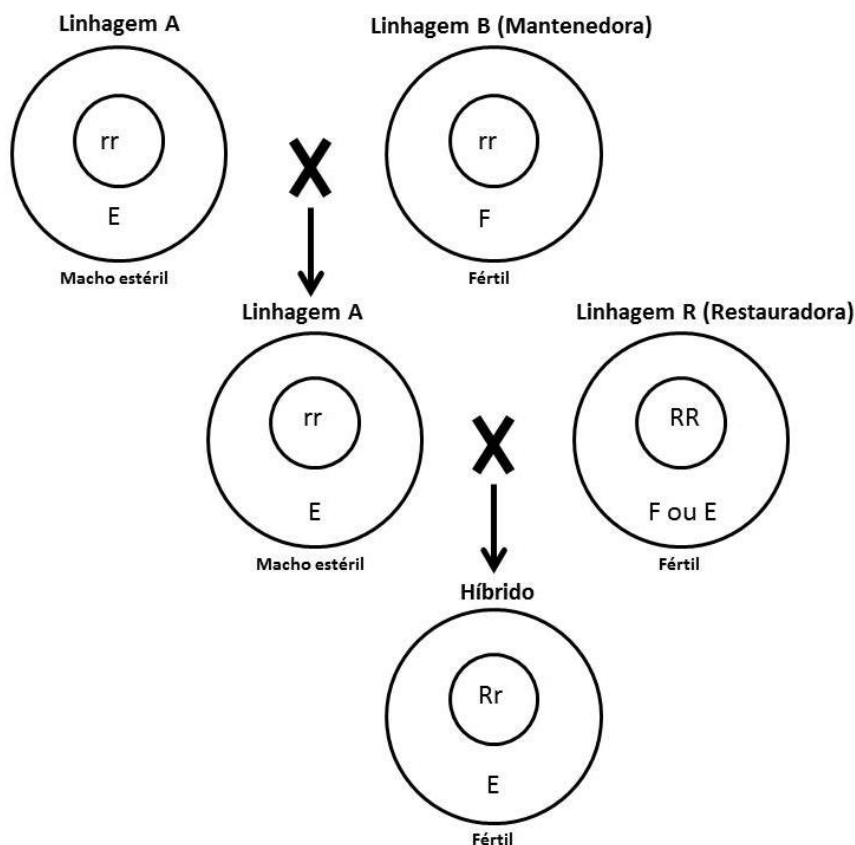


Figura 1 – Esquema da macho esterilidade citoplasmática em sorgo granífero. F: citoplasma fértil, E: citoplasma estéril.

A principal característica utilizada para a seleção de híbridos de sorgo granífero é produtividade de grãos, a qual exige a implantação de experimentos em vários locais e anos para a seleção das combinações mais promissoras (Menezes et al., 2015). Além disso, Santos et al. (2005) ressaltaram que no melhoramento do sorgo devem ser considerados os estresses devido a fatores bióticos, como doenças e pragas, e abióticos como a seca, toxidez de alumínio e baixo teor de fósforo no solo. No entanto, em etapas iniciais de seleção, é possível reduzir o número de linhagens do programa pela seleção daquelas que não apresentam complemento de altura ou que possuam maior ciclo (Menezes et al., 2015).

A utilização de populações nos programas de melhoramento de sorgo é de grande importância, possibilitando extrair o máximo de informações possíveis na fase

de pré-melhoramento tornando o programa mais eficiente. Essas populações devem conter indivíduos que possuam grande concentração de alelos favoráveis para as características de interesse visando obter híbridos superiores quando cruzadas entre si (Ramalho et al., 1993).

Neste sentido, estudos de diversidade genética permitem formar populações que concentrem indivíduos semelhantes dentro da população e divergentes entre populações, auxiliando nos cruzamentos dialélicos entre progenitores que possuam alta distância genética e que sejam promissores. Dessa forma, é possível estimar parâmetros como capacidades geral e específica de combinação, bem como quantificar a heterose manifestada no híbrido. Portanto, ao utilizar análises de diversidade genética associada à análises dialélicas, o processo de seleção de genitores será facilitado, fornecendo estimativas importantes para o desenvolvimento de um programa de melhoramento de sorgo.

2.2. Diversidade Genética

Estudos sobre diversidade genética têm sido relevantes nos programas de melhoramento que envolve hibridações (Menezes et al.; 2014 e 2015; Oliveira et al., 2015; Silva et al., 2015; Silva 2016;), pois estes fornecem parâmetros que possibilitam identificar genitores divergentes. Isso permite explorar a heterose na progênie e obter maior variabilidade genética em gerações segregantes (Wilches, 1987; Cruz et al., 2012).

A diversidade genética tem sido avaliada por técnicas biométricas, a partir da quantificação da heterose ou por processos preditivos, e quantificada por meio de medidas de dissimilaridade (Cruz et al., 2012). Neste sentido, deve haver um grau ótimo de divergência genética para a expressão máxima da heterose, sendo necessário o conhecimento do grau de semelhança entre os indivíduos utilizando técnicas biométricas (Paterniani e Lonquist, 1963; Moll et al., 1965).

Para estimativa da distância genética, é realizada a análise de agrupamento, baseada em análise multivariada cujo objetivo principal é agrupar indivíduos com base na similaridade genética, de modo que os indivíduos semelhantes são reunidos em um mesmo *cluster* (Silva, 2016). Existem diversos métodos para quantificar e avaliar a diversidade genética a partir de informações genotípicas e fenotípicas (Cruz et al., 2011). Em grande parte dos estudos, o interesse é avaliar padrões de agrupamento. Assim, a literatura fornece várias técnicas que se distinguem pelo tipo de resultado a ser

fornecido e pelos diferentes modos de definir a distância entre os indivíduos entre e dentro de grupos.

Em termos gerais, os métodos de agrupamentos podem ser classificados como hierárquicos, onde os indivíduos são agrupados por um processo que se repete em vários níveis até que seja formado um dendrograma ou árvore filogenética; e os métodos de otimização, onde os grupos são formados pela adequação de algum critério de agrupamento (Silva, 2016).

Um método de otimização amplamente utilizado é o de Tocher, onde a partição do grupo de indivíduos é realizada por meio da maximização ou minimização de alguma medida pré-fixada (similaridade ou dissimilaridade), em que são formados grupos simultaneamente (Cruz e Carneiro, 2003; Pereira et al., 2011). Esse método apresenta a característica de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos.

Uma modificação do método de Tocher foi proposta por Vasconcelos et al. (2007), que se difere do original pelo fato de ser adotado um critério diferenciado para a inclusão de indivíduos em cada grupo que é formado, de modo que o processo de agrupamento deixa de ser simultâneo e passa a ser sequencial.

Já nos métodos hierárquicos de agrupamento, os indivíduos são agrupados por um processo que se repete até que um dendrograma seja estabelecido. Bussab et al. (1990) afirma que o dendrograma pode ser considerado uma representação simplificada da matriz de dissimilaridade. Segundo Cruz et al. (2011) os principais métodos de agrupamento são: o método do vizinho mais próximo, método do vizinho mais distante, o método da ligação média entre grupos (UPGMA), o método da mediana (WPGMC) e o método da variância mínima de Ward.

O método UPGMA tem sido comumente utilizado em estudos de diversidade genética, tendo como vantagem sobre os demais considerar médias aritméticas das medidas de dissimilaridade, assim como o método do vizinho mais próximo e vizinho mais distante (Cruz e Carneiro, 2003). Entre os métodos de avaliação da diversidade ou da heterose também existem as análises dialélicas.

2.3. Dialelo

O conceito de cruzamentos dialélicos foi apresentado por Hayman (1954) e Griffing (1956) sendo uma técnica muito importante para o melhoramento de plantas,

uma vez que possibilita a recombinação da variabilidade disponível, permitindo a obtenção de novos genótipos.

Na literatura encontram-se várias metodologias de análises dialélicas, entre elas destacam-se aquelas propostas por Griffing (1956), em que são estimados efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC); por Gardner e Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedade e da heterose varietal; e por Hayman (1954) que fornece informações a respeito do mecanismo de herança do caráter em estudo. Essas metodologias têm como objetivo a análise dos dados das progênies do delineamento genético, fornecendo estimativas de parâmetro que são úteis na seleção de genitores para formar híbridos, além de conhecer os efeitos genéticos envolvidos na determinação das características (Cruz et al., 2012).

O método desenvolvido por Griffing (1956) descreve que a capacidade geral de combinação (CGC) é a medida do comportamento relativo de uma linhagem em uma série de cruzamentos e está associada a efeitos genéticos aditivos. A capacidade específica de combinação (CEC) representa o desvio de um determinado cruzamento para superior ou inferior, tomando por base a média da CGC dos pais. Este desvio é o resultado dos efeitos de dominância, epistasia e vários tipos de interações gênicas (Marchesan, 2008).

De acordo com Cruz et al. (2012) esta metodologia pode ser classificada em quatro métodos experimentais que variam de acordo com a inclusão ou não dos progenitores e/ou híbridos F_1 recíprocos: i) Método 1: são incluídos todos os indivíduos envolvidos: genitores, híbridos F_1 e seus recíprocos; ii) Método 2: não inclui informações dos híbridos F_1 recíprocos; iii) Método 3: não inclui informações dos progenitores; iv) Método 4: não inclui informações a respeito dos progenitores e híbridos F_1 recíprocos.

Cada um dos métodos pode ser analisado considerando um modelo fixo ou aleatório, de acordo com a natureza amostral dos genitores. No modelo fixo, os genitores são escolhidos, permitindo estimar os efeitos da capacidade de combinação e obter erros padrões apropriados para as diferenças entre efeitos; neste caso, as conclusões são inerentes aos genótipos estudados, não podendo ser generalizado. Já no modelo aleatório, os progenitores são considerados como sendo uma amostra ao acaso de uma população de referência, permitindo estimar os componentes de variância genéticos e ambientais da referida população (Rodrigues, 2012).

Diversos tipos de dialelo têm sido empregados, dentre os quais destaca-se o dialelo parcial, utilizado em situações em que se dispõe de um grande número de progenitores. Com a finalidade de analisar um maior número de acessos, com menor número de cruzamentos, este tipo de dialelo consiste em cruzar dois grupos de genitores distintos, possibilitando assim maximizar as informações sobre esses grupos com um número reduzido de combinações de genitores do que seria utilizado em no dialelo completo (Cruz et al., 2012).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Identificar linhagens promissoras que produzam híbridos com elevada produtividade de grãos, precocidade (ciclo menor que 60 dias para florescimento) e altura ideal visando colheita mecanizada (entre 1,0 m e 1,5 m). Assim como baixas notas para acamamento, baixa incidência de antracnose e baixas notas para *stay green*.

3.2. Objetivos específicos

- 1) Estimar os efeitos genéticos envolvidos no controle das características dias para florescimento, altura de planta, acamamento, incidência de antracnose, *stay green* e produtividade de grãos;
- 2) Identificar genitores e combinações promissoras que possuam alta produtividade e redução tanto na altura quanto nos dias para florescimento;
- 3) Estimar diversidade genética entre 42 genótipos de sorgo avaliados no ano de 2012;
- 4) Recomendar linhagens promissoras, com base na diversidade genética dos híbridos e na capacidade de combinação dos genitores visando a obtenção de híbridos de sorgo granífero agronomicamente superiores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização do experimento

Realizaram-se cruzamentos controlados no esquema dialélico parcial entre dois grupos de linhagens de sorgo granífero. O grupo de linhagens R foi constituído por sete machos, ao passo que as linhagens A constituíram-se por seis fêmeas, resultando em 42 híbridos (Tabela 1). Estes foram avaliados em condições de sequeiro com semeadura realizada no dia 10 de março de 2012 e desbaste de plantas realizado 15 dias após a emergência, deixando uma população de 180.000 plantas por hectare.

Os ensaios foram conduzidos na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop, Mato Grosso, no ano de 2012 (latitude de 11°51'43" e longitude de -55°36'45"), com altitude média de 370 m. O clima da região é tropical quente e úmido, com inverno seco e a temperatura média anual de 25 °C com uma pluviosidade de 2.250 mm ao ano. O solo da região foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com duas repetições. Cada parcela foi composta por 2 linhas com 5 m de comprimento e espaçamento de 0,50 m entre linhas. As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas com base nas análises de solo, os tratos culturais e fitossanitários ocorreram de acordo com a necessidade da cultura (Cota et al., 2010).

Foram avaliados seis características referentes aos componentes vegetativos e produtivos do sorgo, sendo estes: dias para florescimento (FLO): número de dias decorridos do plantio até que 50% das plantas da parcela estejam em florescimento; altura de planta (ALT): altura média de duas plantas (m) da área útil da parcela, medida da superfície do solo ao ápice da panícula, na época da colheita; acamamento (ACAM): porcentagem do número de plantas acamadas na parcela experimental no momento da colheita e convertidas na seguinte escala de notas: 1 - 0 a 20%; 2 - 20 a 40%; 3 - 40 a 60%; 4 - 60 a 80%; e 5 - 80 a 100% de plantas acamadas; incidência de antracnose (ANT): adotando escala de notas de 0 a 5, conforme severidade da doença; 0 - planta sadia, 1 - menos de 1% da área foliar afetada, 2 - entre 1 e 5% da área foliar afetada, 3 - entre 6 e 25% da área foliar afetada, 4 - entre 26-50% da área foliar afetada, 5 - mais que 50% da área foliar afetada; *stay green* (SG): 1 - plantas 80 a 100% verdes, 2 - plantas 60 a 80 % verdes, 3 - plantas 40 a 60 % verdes, 4 - 20 a 40 % verdes, 5 - plantas 20 a 0 % verdes; produtividade de grãos (PROD): peso de grãos da parcela e

extrapolado para kg ha⁻¹ e, subsequentemente, mensurada a umidade dessas, para posterior correção para a umidade de 13%.

Tabela 1 – Codificação dos 42 híbridos provenientes do cruzamento entre 13 linhagens de sorgo granífero, avaliados em Sinop – MT.

Fonte	Codificação				Fonte	Codificação			
	Híbrido	Código	Linhagem	Linhagem		Híbrido	Código	Linhagem	Linhagem
			R	A				R	A
1173-133	1	H ₁₁	1	1	1173-1129	22	H ₄₄	4	4
1173-127	2	H ₁₂	1	2	1173-1131	23	H ₄₅	4	5
1173-131	3	H ₁₃	1	3	1173-1193	24	H ₄₆	4	6
1173-169	4	H ₁₄	1	4	1173-853	25	H ₅₁	5	1
1173-171	5	H ₁₅	1	5	1173-847	26	H ₅₂	5	2
1173-229	6	H ₁₆	1	6	1173-851	27	H ₅₃	5	3
1173-253	7	H ₂₁	2	1	1173-889	28	H ₅₄	5	4
1173-247	8	H ₂₂	2	2	1173-891	29	H ₅₅	5	5
1173-251	9	H ₂₃	2	3	1173-949	30	H ₅₆	5	6
1173-289	10	H ₂₄	2	4	1173-973	31	H ₆₁	6	1
1173-291	11	H ₂₅	2	5	1173-967	32	H ₆₂	6	2
1173-353	12	H ₂₆	2	6	1173-971	33	H ₆₃	6	3
1173-373	13	H ₃₁	3	1	1173-1009	34	H ₆₄	6	4
1173-367	14	H ₃₂	3	2	1173-1011	35	H ₆₅	6	5
1173-371	15	H ₃₃	3	3	1173-1075	36	H ₆₆	6	6
1173-409	16	H ₃₄	3	4	1173-613	37	H ₇₁	7	1
1173-411	17	H ₃₅	3	5	1173-607	38	H ₇₂	7	2
1173-469	18	H ₃₆	3	6	1173-611	39	H ₇₃	7	3
1173-1093	19	H ₄₁	4	1	1173-649	40	H ₇₄	7	4
1173-1087	20	H ₄₂	4	2	1173-651	41	H ₇₅	7	5
1173-1091	21	H ₄₃	4	3	1173-713	42	H ₇₆	7	6

4.2. Análises genético-estatísticas

4.2.1. Análise Dialélica

Foi adotado o Método 4 de Griffing (1956) adaptado a dialelo parcial, que estima os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) de cada genitor e os efeitos da capacidade específica de combinação (CEC), utilizando-se somente os híbridos F₁'s, segundo modelo abaixo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g'_j + b_k + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$$

em que: Y_{ij} é a média do cruzamento entre a i -ésima linhagem R e a j -ésima linhagem A; μ é a média geral; g_i é a capacidade geral de combinação da i -ésima linhagem R; g_j é a capacidade geral de combinação da j -ésima linhagem A; s_{ij} é a capacidade específica de combinação entre as linhagens R e A; \bar{e}_{ij} é o erro experimental médio.

4.2.2. Precisão experimental

Para a mensuração da precisão experimental, foram utilizados o coeficiente de variação experimental e a acurácia seletiva, segundo Resende e Duarte (2007) obtidas pelos seguintes modelos:

$$CV_e = \frac{\sqrt{QMR}}{\hat{m}} \times 100$$

$$\hat{r}_{gg} = (1 - 1/F)^{1/2}$$

em que: CV_e é o coeficiente de variação experimental; QMR é o quadrado médio do resíduo; m é a média do experimento; \hat{r}_{gg} é a acurácia seletiva; F é o valor do teste obtido pela análise de variância.

4.2.3. Teste Scott e Knott

Posteriormente, foi realizado agrupamento de médias dos 42 cruzamentos pelo procedimento de Scott e Knott (1974). Este agrupamento foi utilizado com a finalidade de identificar diferenças entre as médias individualmente e formar grupos de médias diferentes. Assim, a máxima verossimilhança foi utilizada para checar a existência de dois grupos homogêneos, distintos entre si dentro de um mesmo conjunto de médias.

4.2.4. Estimativa de diversidade genética

A estimativa de diversidade genética dos híbridos é baseada em técnicas multivariadas, como análise de agrupamento. Para a análise de agrupamento, foi estimada a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) entre todos os pares de genótipos. Para a obtenção de D^2 , foi utilizada as estimativas da matriz de correlação residual entre as características obtidas pela análise de variância. Assim, a distância

entre dois genótipos, i e i' , foi obtida a partir da equação proposta por Mahalanobis (1936), utilizando a matriz de dispersão residual (Ψ) e as médias das características:

$$D^2_{ii'} = \delta' \Psi^{-1} \delta$$

em que: $D^2_{ii'}$ é a distância de Mahalanobis entre os genótipos i e i' ; Ψ é a matriz de variâncias e covariâncias residuais; δ' são os valores $[d_1 d_2 \dots d_j \dots d_v]$ sendo $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$; Y_{ij} é a média do i -ésimo genótipo em relação a j -ésima variável.

Com base na matriz de distância de Mahalanobis aplicou-se o método hierárquico de Agrupamento Médio Entre Grupos (UPGMA). Este método promove o agrupamento dos genótipos avaliados aos pares por média aritmética, que consiste em atribuir pesos iguais a cada indivíduo do grupo, calculando a similaridade média de um indivíduo que pretende ser incluído ao grupo já existente. O critério estatístico utilizado para a determinação do número de grupos foi o método de Mojena (1977). O número de grupos é selecionado de tal forma que satisfaça a seguinte inequação:

$$\alpha_j > \theta_k$$

em que: α_j é o valor das distâncias dos níveis de fusão correspondentes ao estágio j ($j = 1, 2, \dots, n$); e θ_k é o valor referencial de corte com base numa constante k .

Baseado na mesma matriz de distância, foi realizada a projeção gráfica bidimensional dos 42 híbridos avaliados.

O método de agrupamento de otimização de Tocher, modificado por Vasconcelos et al. (2007), foi utilizado a partir da matriz de distância de Mahalanobis. Os procedimentos iniciais para formação de grupos de acordo com a modificação proposta (sequencial) foram os mesmos utilizados no método original. Para a formação dos demais grupos o procedimento foi similar, diferindo apenas do fato de que o valor máximo da medida de dissimilaridade encontrado no conjunto das menores distâncias envolvendo cada indivíduo é calculado excluindo as informações daqueles anteriormente já agrupados e assim sucessivamente.

A contribuição relativa das características avaliadas para diversidade genética foi verificada segundo a metodologia proposta por Singh (1981). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do *software* GENES (Cruz, 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dialélica apresentou efeitos significativos ($p < 0,01$) de híbridos para todas as características avaliadas (Tabela 2). Isso permite afirmar que a variância genética existente nos híbridos é diferente de zero, ou seja, existe variabilidade genética entre os híbridos avaliados.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as características dias para florescimento (FLO); altura de planta (ALT); acamamento (ACAM); incidência de antracnose (ANT); *stay green* (SG); produtividade de grãos (PROD) avaliados em 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT.

Fonte de Variação	Quadrados Médios						
	GL	FLO	ALT	ACAM	ANT	SG	PROD
Bloco	1	0,0476	0,0525	0,5833	1,0744	0,2976	168949,9505
Híbridos	41	26,77**	0,10**	1,54**	2,67**	1,95**	2892535,10**
CGC R	6	51,28**	0,15**	1,71**	9,80**	8,24**	10993132,27**
CGC A	5	89,70**	0,42**	1,81**	2,55**	1,16 ^{ns}	5837435,25**
CEC	30	11,38**	0,03**	1,46**	1,27*	0,82 ^{ns}	781598,98 ^{ns}
Resíduo	41	3,80	0,01	0,41	0,67	0,50	531439,36
Média		59,83	1,58	1,94	3,22	2,57	2722,86
Acurácia		0,93	0,93	0,86	0,86	0,86	0,90
CV (%)		3,26	7,15	33,10	25,46	27,47	26,77

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

O coeficiente de variação experimental (CV) foi inferior a 10% para as características dias para florescimento (FLO) e altura de plantas (ALT) e inferior a 30% para incidência de antracnose (ANT), *stay green* (SG) e produtividade (PROD) (Tabela 2). Por fim, a característica acamamento (ACAM) apresentou um CV de 33,10%. Valores similares de CV tem sido observados na literatura para ANT e SG na cultura do sorgo. Zanatto et al. 2016 encontraram valores de 20,48 e 23,86%, respectivamente para estas variáveis. Por sua vez, o coeficiente de variação experimental para ACAM foi inferior ao encontrado no presente trabalho. As características FLO e ALT apresentaram valores de CV similares e menores do que tem sido observado em outros trabalhos com

a cultura do sorgo (Tardin et al., 2013; Menezes et al., 2014, 2015). Por sua vez, a PROD apresentou um coeficiente com elevada magnitude, contudo, este resultado era esperado visto que esta característica é bastante influenciada pelo ambiente e este valor foi próximo ao observado em literatura (Tardin et al., 2013; Menezes et al., 2014).

A acurácia seletiva foi superior a 0,85 para todas as características avaliadas, sendo que FLO, ALT e PROD apresentaram valores superiores a 0,90 indicando precisão experimental muito alta (Tabela 2). Segundo Resende e Duarte (2007), valores de coeficiente de variação experimental não informam sobre a acurácia seletiva da avaliação e, conseqüentemente, não consideram o nível de variação genotípica e o número de repetições. A utilização da estatística F neste método é uma alternativa que permite considerar simultaneamente todos esses aspectos na avaliação dos experimentos. Assim, mesmo sendo observados valores de CV altos (superior a 20%) para ACAM, ANT, SG e PROD (Tabela 2), isso não reflete má condução do experimento, uma vez que a precisão experimental para essas variáveis, de acordo com a acurácia seletiva, foi superior a 0,85, ou seja, alta precisão experimental.

A média de florescimento mostrou que os híbridos deste estudo são de ciclo precoce, ou seja, até 60 dias para o florescimento de 50% das plantas (Baumhardt et al., 2005; Baumhardt e Howell, 2006). A alta correlação entre o florescimento com o ciclo da cultura é uma importante medida para o sorgo na safrinha, por ser uma fase muito sensível ao estresse hídrico (Menezes et al., 2015). Assim, quanto mais cedo a planta completar seu ciclo, maior chance ela terá de escapar do período seco (Menezes et al., 2015).

Em relação à altura, o ideal é que seja entre 1,0 e 1,5 metros. No presente trabalho, a altura média de 1,58 m está acima do satisfatório visando à colheita mecanizada (Tardin et al., 2013). Entretanto, apesar de apresentar valor médio de altura superior ao recomendado, isso não reflete a realidade de todos os genótipos, uma vez que é possível observar híbridos que apresentem altura dentro do intervalo recomendado.

A média da produtividade de grãos foi de 2.722,86 kg ha⁻¹ sendo este valor próximo à média da produção nacional na safra 2017/18, segundo os dados da Conab (2018) que foi 2.856 kg ha⁻¹. Contudo, é observado nesta população que existem vários híbridos que superam o valor de 4.000 kg ha⁻¹, chegando a extrapolar valores de 5.000 kg ha⁻¹ e superando valores de rendimento de grãos observados em outros trabalhos (Mota et al., 2016; Santana et al., 2017).

O agrupamento de médias Scott e Knott foi utilizado entre os genótipos para cada característica avaliada, permitindo avaliar diferenças entre elas (Tabela 3). Para a característica florescimento, possibilitou a divisão dos híbridos em quatro grupos. Visando híbridos que apresentem valores menores de dias para florescimento, o grupo formado pelos genótipos H₄₆, H₅₁, H₄₁, H₅₆, H₄₂ e H₄₃ foi o que atendeu ao objetivo, que são genótipos mais precoces, onde variou entre 53 e 56 dias. A maioria dos híbridos não ultrapassou o tempo de 60 dias e nenhum deles apresentou dias para florescimento superior a 70, intervalo este que, em geral, é observado nos híbridos plantados no Brasil.

Tabela 3 – Agrupamento de médias para as características dias para florescimento (FLO); altura de planta (ALT); acamamento (ACAM); incidência de antracnose (ANT); *stay green* (SG); produtividade de grãos (PROD) avaliados em 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT.

Linhagem R	Linhagem A	Híbridos	FLO	ALT	ACAM	ANT	SG	PROD
1	1	H ₁₁	60,50 b	1,60 b	1,00 c	3,00 b	2,50 b	4210,00 a
1	2	H ₁₂	63,00 b	1,75 a	2,00 c	3,50 a	2,50 b	3228,70 b
1	3	H ₁₃	59,50 b	1,90 a	3,50 a	4,50 a	3,50 a	1609,15 c
1	4	H ₁₄	66,50 a	1,05 d	2,00 c	2,50 b	3,00 a	1452,45 c
1	5	H ₁₅	63,00 b	1,15 d	1,00 c	3,50 a	3,50 a	1377,10 c
1	6	H ₁₆	60,50 b	1,55 b	2,00 c	3,25 a	2,50 b	3128,30 b
2	1	H ₂₁	60,00 b	1,95 a	1,00 c	1,50 b	1,00 b	3620,80 b
2	2	H ₂₂	60,50 b	1,90 a	1,00 c	1,50 b	1,00 b	3169,00 b
2	3	H ₂₃	57,00 c	2,00 a	2,00 c	3,00 b	1,50 b	2086,85 c
2	4	H ₂₄	66,50 a	1,60 b	1,00 c	2,75 b	2,25 b	1841,75 c
2	5	H ₂₅	63,00 b	1,55 b	1,50 c	3,00 b	2,50 b	3545,00 b
2	6	H ₂₆	61,00 b	1,80 a	2,00 c	2,00 b	2,00 b	4447,30 a
3	1	H ₃₁	58,50 c	1,75 a	2,50 b	2,00 b	1,00 b	5332,90 a
3	2	H ₃₂	56,00 c	1,75 a	2,00 c	2,00 b	1,00 b	4364,70 a
3	3	H ₃₃	56,00 c	1,85 a	1,50 c	2,25 b	1,50 b	3051,70 b
3	4	H ₃₄	66,00 a	1,50 c	1,00 c	1,75 b	2,00 b	4220,20 a
3	5	H ₃₅	62,50 b	1,35 c	1,00 c	1,50 b	1,00 b	3844,75 b
3	6	H ₃₆	56,50 c	1,65 b	1,00 c	1,50 b	1,00 b	5903,45 a
4	1	H ₄₁	53,50 d	1,45 c	4,00 a	4,50 a	4,00 a	1445,05 c
4	2	H ₄₂	55,00 d	1,80 a	2,00 c	4,50 a	3,00 a	1602,80 c
4	3	H ₄₃	55,00 d	1,70 b	2,50 b	5,00 a	4,00 a	500,75 c

Continua...

...Continuação

Linhagem R	Linhagem A	Híbridos	FLO	ALT	ACAM	ANT	SG	PROD
4	4	H ₄₄	59,50 b	1,25 d	2,50 b	4,50 a	4,00 a	928,95 c
4	5	H ₄₅	62,50 b	1,75 a	1,00 c	2,50 b	2,00 b	2439,75 c
4	6	H ₄₆	53,00 d	1,60 b	3,00 b	3,50 a	3,50 a	1919,85 c
5	1	H ₅₁	53,00 d	1,60 b	2,50 b	3,50 a	2,00 b	2421,15 c
5	2	H ₅₂	62,00 b	1,65 b	2,00 c	3,00 b	1,75 b	3057,65 b
5	3	H ₅₃	60,50 b	1,60 b	1,50 c	2,00 b	2,50 b	2475,50 c
5	4	H ₅₄	62,00 b	1,40 c	1,00 c	5,00 a	3,00 a	2230,25 c
5	5	H ₅₅	56,00 c	1,35 c	3,50 a	4,00 a	3,50 a	3092,70 b
5	6	H ₅₆	54,00 d	1,65 b	2,00 c	2,00 b	2,00 b	4064,35 a
6	1	H ₆₁	60,50 b	1,65 b	1,50 c	4,25 a	3,00 a	2872,00 b
6	2	H ₆₂	57,00 c	1,70 b	4,50 a	5,00 a	4,00 a	1808,70 c
6	3	H ₆₃	58,50 c	1,60 b	3,00 b	4,50 a	4,00 a	1628,30 c
6	4	H ₆₄	64,50 a	1,30 d	1,00 c	5,00 a	2,50 b	897,95 c
6	5	H ₆₅	64,50 a	1,10 d	1,00 c	5,00 a	4,00 a	1502,95 c
6	6	H ₆₆	59,00 c	1,50 c	2,00 c	2,50 b	3,00 a	2583,30 c
7	1	H ₇₁	58,50 c	1,65 b	2,50 b	4,50 a	3,50 a	3155,10 b
7	2	H ₇₂	62,00 b	1,55 b	1,50 c	3,50 a	2,50 b	1857,30 c
7	3	H ₇₃	63,50 a	1,50 c	2,50 b	2,50 b	2,00 b	2098,20 c
7	4	H ₇₄	62,00 b	1,45 c	2,00 c	4,00 a	3,00 a	3267,75 b
7	5	H ₇₅	62,00 b	1,25 d	1,50 c	3,50 a	4,00 a	2993,90 b
7	6	H ₇₆	58,50 c	1,65 b	2,00 c	2,00 b	2,00 b	3082,00 b

Grupos de médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo agrupamento de Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Híbridos com altura superior à altura recomendada tendem a acamar e dificultam a colheita (Silva et al., 2015). Foram formados quatro grupos para a variável ALT. Os genótipos H₂₅, H₃₄, H₄₁, H₆₆ e H₇₂ foram os que apresentaram os menores desvios do ideótipo máximo de 1,5 metros (Figura 2).

A avaliação das características altura e florescimento são de interesse para os programas de melhoramento, pois são menos influenciadas pelo ambiente e possibilitam a seleção precoce das linhagens mais promissoras, gerando economia de tempo e reduzindo a área de experimentação no campo (Menezes et al., 2015). Apesar disso, de acordo com Tardin et al. (2012), é interessante que existam cultivares com diferentes épocas de florescimento disponíveis para o agricultor. Assim, o mesmo pode diversificar os genótipos a serem semeados, optando, preferencialmente, por semear cultivares tardias no início da safra e mais precoces no final do período de semeadura, pois híbridos com ciclos diferentes favorecem a colheita escalonada.

Por sua vez, os genótipos para a característica produtividade de grãos foram agrupados em três grupos estatisticamente distintos, sendo os mais produtivos os híbridos H₃₆, H₃₁, H₂₆, H₃₂, H₃₄, H₁₁ e H₅₆ com valores superiores a 4.000 kg ha⁻¹. Isso supera números observados em trabalhos analisando sorgo sob condições de déficit hídrico onde foram observados valores médios de 3.591,6 kg ha⁻¹ (Santana et al., 2017). Outros trabalhos também têm mostrado números similares se tratando de produtividade de grãos na cultura do sorgo (Tardin et al., 2013; Menezes et al., 2015).

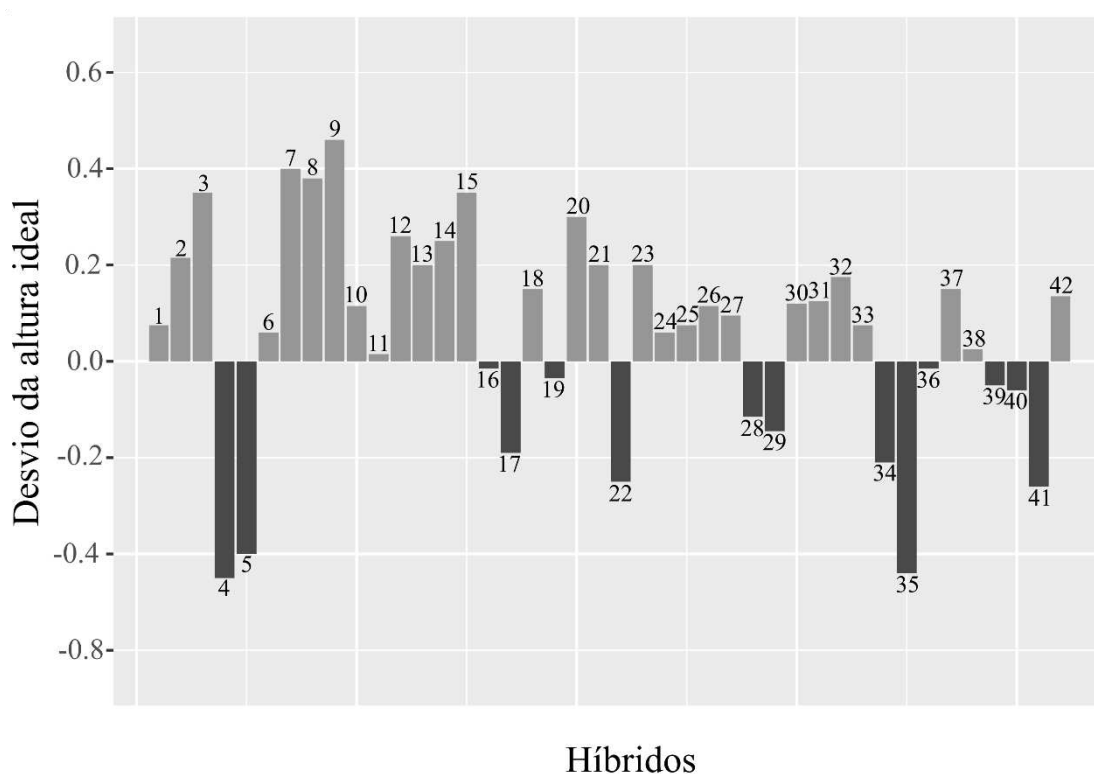


Figura 2 – Desvios da altura de 1,5m avaliados em 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT.

Os híbridos H₁₁ e H₃₄ apresentaram os valores desejados para essas três características, pois além de apresentarem alta produção de grãos, se mostraram precoces e com altura desejável. Por sua vez, mesmo sem pertencer ao grupo de maior produtividade, o híbrido H₃₅ se mostrou promissor, possuindo média de rendimento de grãos superior a 3.800 kg ha⁻¹ além de possuir um ciclo precoce (62,5 dias) e apresentar uma altura satisfatória (1,35 m) visando à mecanização no processo de colheita.

As estimativas dos quadrados médios dos híbridos, da CGC e CEC na análise dialélica apresentaram efeito significativo pelo teste F para a maioria das características.

Incidência de antracnose (ANT) apresentou significância para híbridos, CGC e CEC das linhagens R e A. A característica *stay green* (SG) apresentou efeito não significativo para a CGC das linhagens A e CEC, enquanto estimativas de híbridos e das linhagens R foram significativas. Por fim, para produtividade de grãos (PROD), apenas a CEC se mostrou não significativa pelo teste F, ao passo que as demais estimativas dessa variável foram significativas.

Os efeitos significativos para híbridos evidenciam a existência de variabilidade genética entre eles (Cruz et al., 2012; Menezes et al., 2015). Os efeitos da CGC de ambos os grupos de linhagens foram superiores aos efeitos da CEC para todas as características, indicando grande importância dos efeitos aditivos no controle destas. O fato do efeito devido aos desvios de dominância, evidenciado pela CEC, ser não significativo para PROD, pode ser interpretado de forma que os híbridos não apresentaram comportamento diferenciado daquilo que era esperado com base na CGC de seus genitores. Essa mesma observação foi evidenciada por Menezes et al. (2014) avaliando linhagens de sorgo granífero tolerantes a alumínio.

As estimativas de capacidade geral de combinação (CGC) das linhagens macho (Linhagens R) mostram que o genitor 3 deste grupo foi o que mais contribuiu para aumentar a produtividade de grãos (Tabela 4). Os genitores 2, 5 e 7 também contribuíram positivamente para esta característica, em menor magnitude, quando comparado com o pai 3. Por sua vez, as linhagens A, que são macho-estéreis, apenas 1, 2 e 6 contribuíram para o aumento da produtividade de grãos nos híbridos que participam, sendo que para o genitor 2, apesar de positiva, esta contribuição foi muito próxima de zero. Genitores com valores positivos e significativos é uma indicação da superioridade em relação à frequência de alelos favoráveis para aumento da produtividade em comparação aos outros genitores do grupo.

Para a característica florescimento, procura-se selecionar linhagens que reduzam o ciclo de seus híbridos. Por ser plantado na safrinha, onde existem restrições hídricas na fase final do ciclo, o sorgo granífero precisa ser de ciclo precoce, para escapar deste estresse (Menezes et al., 2015). Assim, para as linhagens R, os genitores 3, 4 e 5 contribuíram para diminuir o ciclo do híbrido, enquanto para as linhagens A os pais 1, 2, 3 e 6 também contribuíram para a redução desta característica.

Altura de plantas é uma característica de alta herdabilidade e menos influenciada pelo ambiente quando comparada à produtividade de grãos (Menezes et al., 2015). Em sorgo granífero é importante que linhagens não apresentem alturas extremas, tanto para

o aumento ou diminuição da mesma, caso contrário esta já pode ser descartada. De forma geral, não houve genótipos que contribuíram para um aumento ou diminuição excessiva da característica.

Tabela 4 – Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) para as características dias para florescimento (FLO); altura de planta (ALT); acamamento (ACAM); incidência de antracnose (ANT); *stay green* (SG); produtividade de grãos (PROD) avaliados em 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT.

Genitores	LINHAGENS R					
	FLO	ALT	ACAM	ANT	SG	PROD
1	2,33	-0,08	-0,02	0,15	0,35	-221,91
2	1,50	0,22	-0,52	-0,93	-0,86	395,59
3	-0,58	0,06	-0,44	-1,39	-1,32	1730,09
4	-3,42	0,01	0,56	0,86	0,85	-1250,01
5	-1,92	-0,04	0,14	0,03	-0,11	167,40
6	0,83	-0,10	0,23	1,15	0,85	-840,66
7	1,25	-0,07	0,06	0,11	0,26	19,51
LINHAGENS A						
1	-2,05	0,08	0,20	0,10	-	570,99
2	-0,48	0,15	0,20	0,07	-	4,11
3	-1,26	0,16	0,42	0,17	-	-801,37
4	4,02	-0,22	-0,44	0,42	-	-602,96
5	2,10	-0,22	-0,44	0,07	-	-37,70
6	-2,33	0,05	0,06	-0,83	-	866,93

As estimativas do efeito da capacidade geral de combinação das linhagens macho (Linhagens R) mostraram que o genitor que se destaca é o 3, de forma que este contribuiu para aumentar a produtividade de grãos além de diminuir os dias para florescimento e não teve muita influência na altura de plantas, por apresentar CGC próxima de zero. O genitor 4 deste grupo contribuiu significativamente para a diminuição do ciclo do híbrido, porém ele reduz a média de rendimento de grãos o que é indesejável para sorgo granífero. Para as linhagens A, aquelas que apresentaram este mesmo padrão de efeitos da CGC, visando a diminuição do ciclo e aumento da produtividade foram 1 e 6.

Os efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) podem ser caracterizados como desvios de comportamento do híbrido em relação ao esperado na CGC de seus genitores. É interessante que o híbrido que apresente CEC favorável tenha ao menos um dos pais com capacidade geral de combinação de alta magnitude, ou baixa, a depender da característica, mostrando-se promissor para a transmissão e controle de caracteres (Cruz et al., 2012). Vários híbridos apresentaram estimativas de CEC desejáveis, ou seja, baixa para florescimento, próximo de zero para altura de plantas e alta para produtividade de grãos, sendo importante salientar que esta última foi não significativa para tal estimativa (Tabela 5).

Na Tabela 5 são apresentadas as médias das estimativas de CEC dos híbridos onde é possível destacar os híbridos H₁₁, H₃₆, H₃₄ e H₅₆. Todos estes apresentam pelo menos um genitor com presença de alelos favoráveis, ou seja, alta e significativa estimativa de CGC, o híbrido H₃₆ possui os dois pais com estimativas favoráveis da CGC para as três características de interesse agrônomo. Este híbrido possui o maior valor de produtividade (5.903,45 kg ha⁻¹) e um ciclo precoce com média de 56,5 dias para florescimento, porém a altura excede o valor ideal de 1,5 metros, com médias de 1,65 m. Neste sentido, o híbrido H₃₄ se mostra promissor, pois além de possuir uma alta produtividade de grãos e um ciclo relativamente precoce (66 dias) possui altura de 1,5 metros, o que é ideal para a colheita mecanizada.

O predomínio da ação gênica aditiva nas características avaliadas favorece o melhoramento genético por meio de seleção, pois um indivíduo ou grupo de indivíduos superiores quando selecionados produzirão uma descendência também superior enquanto que a interação de dominância dificulta a seleção de indivíduos superiores. Por outro lado, efeitos não-aditivos podem ser explorados na obtenção de combinações híbridas promissoras, pois a interação de dominância favorece a obtenção de híbridos superiores, sobretudo aqueles oriundos de genitores com efeitos favoráveis de CGC. A presença de efeitos não aditivos é importante, pois possibilita a exploração de híbridos (Oliveira, 2015).

Tabela 5 – Estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) para as características dias para florescimento (FLO); altura de planta (ALT); acamamento (ACAM); incidência de antracnose (ANT); *stay green* (SG); produtividade de grãos (PROD) avaliados em 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT.

Linhagens R	Linhagens A	FLO	ALT	ACAM	ANT
1	1	0,38	0,02	-1,12	-0,48
1	2	1,31	0,10	-0,12	0,06
1	3	-1,40	0,24	1,17	0,95
1	4	0,31	-0,23	0,52	-1,30
1	5	-1,26	-0,13	-0,48	0,06
1	6	0,67	0,00	0,02	0,70
2	1	0,71	0,07	-0,62	-0,89
2	2	-0,36	-0,05	-0,62	-0,86
2	3	-3,07	0,04	0,17	0,54
2	4	1,14	0,02	0,02	0,04
2	5	-0,43	-0,03	0,52	0,64
2	6	2,00	-0,05	0,52	0,54
3	1	1,30	0,02	0,80	0,07
3	2	-2,77	-0,04	0,30	0,10
3	3	-1,99	0,05	-0,42	0,24
3	4	2,73	0,07	-0,06	-0,51
3	5	1,15	-0,07	-0,06	-0,40
3	6	-0,42	-0,04	-0,56	0,49
4	1	-0,87	-0,23	1,30	0,32
4	2	-0,94	0,06	-0,70	0,35
4	3	-0,15	-0,05	-0,42	0,74
4	4	-0,94	-0,13	0,44	-0,01
4	5	3,99	0,38	-1,06	-1,65
4	6	-1,08	-0,04	0,44	0,24
5	1	-2,87	-0,03	0,21	0,15
5	2	4,56	-0,04	-0,29	-0,32
5	3	3,85	-0,10	-1,00	-1,42
5	4	0,06	0,07	-0,64	1,33
5	5	-4,01	0,03	1,86	0,68
5	6	-1,58	0,06	-0,14	-0,42
6	1	1,88	0,09	-0,87	-0,23
6	2	-3,19	0,08	2,13	0,56
6	3	-0,90	-0,03	0,42	-0,05
6	4	-0,19	0,04	-0,73	0,20
6	5	1,74	-0,15	-0,73	0,56
6	6	0,67	-0,02	-0,23	-1,05

Continua...

...Continuação

Linhagens R	Linhagens A	FLO	ALT	ACAM	ANT
7	1	-0,54	0,06	0,30	1,07
7	2	1,39	-0,11	-0,70	0,10
7	3	3,68	-0,16	0,08	-1,01
7	4	-3,11	0,16	0,44	0,24
7	5	-1,18	-0,04	-0,06	0,10
7	6	-0,25	0,09	-0,06	-0,51

O agrupamento hierárquico UPGMA foi utilizado para a formação dos grupos utilizando dados das seis características analisadas (dias para florescimento; altura de plantas; acamamento; incidência de antracnose; *stay green* e produtividade de grãos). Este método agrupa genótipos a partir da matriz de dissimilaridade por meio de um processo que se repete em vários níveis até que seja estabelecido um dendrograma.

A determinação de um grupo pode ser definida de maneira visual, quando são detectados pontos de alta mudança de nível, ou a partir de um critério definido como no método de Mojena (1977). Este método é um procedimento baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões (distâncias) no dendrograma. Ao efetuar cortes nestes pontos, se estabelecem grupos de indivíduos (Cruz et al., 2012).

Este método revelou, quando submetido à corte significativo na distância de 31,128 no dendrograma (Figura 3), com $k = 1,25$, segundo Mojena (1977), que o número ideal de grupos a serem formados é quatro (Tabela 6). O primeiro grupo foi formado por vinte e dois híbridos: H₂₁, H₂₂, H₂₆, H₂₃, H₃₃, H₇₂, H₇₃, H₁₂, H₅₂, H₄₅, H₂₄, H₃₄, H₃₅, H₅₃, H₇₆, H₆₆, H₁₆, H₇₄, H₂₅, H₆₁, H₇₁ e H₁₁; o segundo por quatro, sendo eles H₃₁, H₃₂, H₃₆ e H₅₆; o terceiro por nove acessos que são H₄₁, H₅₅, H₄₆, H₅₁, H₄₃, H₆₃, H₄₂, H₁₃ e H₆₂; e o quarto grupo por sete híbridos: H₅₄, H₆₄, H₁₅, H₆₅, H₇₅, H₄₄ e H₁₄.

Por meio de uma verificação do dendrograma é possível visualizar pontos de alta mudança de nível e constatar a existência de grupos principais, que se subdividem em vários subgrupos (Cruz et al., 2011). Experimentos envolvendo a cultura do Sorgo analisando algumas das características utilizadas neste trabalho, como altura de plantas, dias para florescimento e produtividade de grãos, obtiveram resultados semelhantes. Sinha e Kumaravadivel (2016) observaram a formação de seis grupos avaliando a diversidade genética de sorgo granífero a partir de 14 características. Da mesma forma, Oliveira (2015) evidenciou que a partir de um conjunto de 25 acessos de sorgo sacarino avaliando nove características, formaram-se sete grupos pelo método UPGMA,

mostrando que ao analisar um número maior de características é possível discriminar melhor os genótipos estudados.

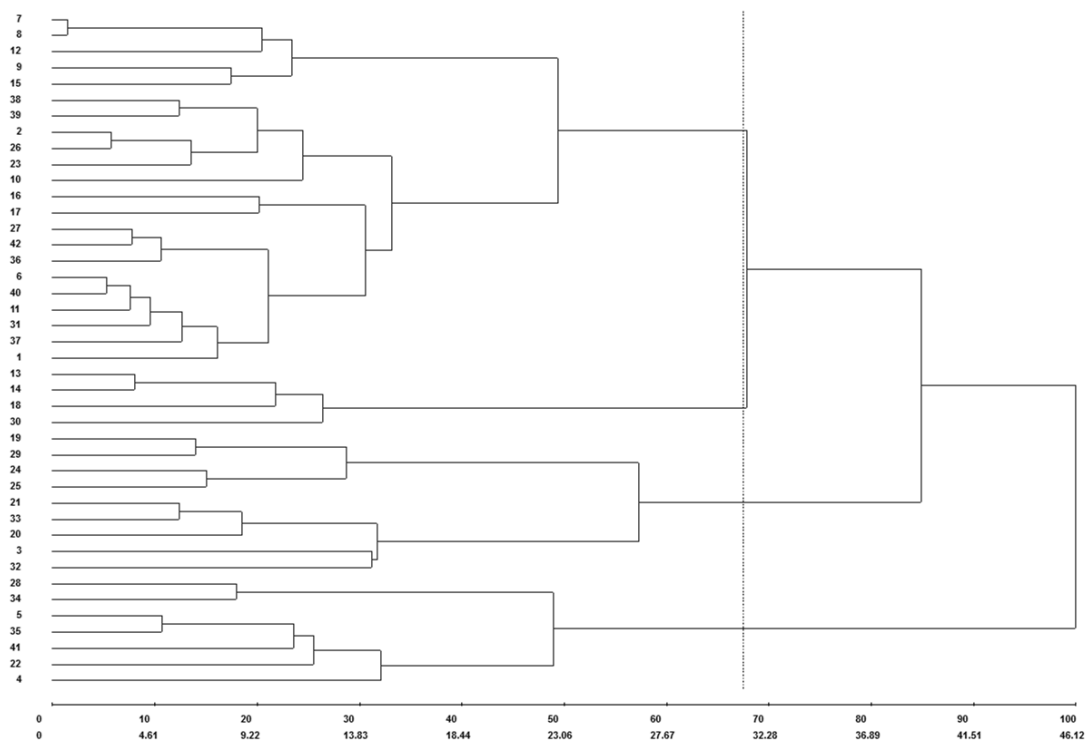


Figura 3 – Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT obtidas pelo método UPGMA a partir do software GENES. Corte realizado no ponto 31,128 segundo método de Mojena (1977).

Apesar de serem observados genótipos similares, este agrupamento revelou grupos de híbridos divergentes em função das características agrônômicas avaliadas, podendo assim afirmar que existe variabilidade genética entre os 42 híbridos estudados. Os híbridos agrupados no grupo 4 foram aqueles que, de forma geral, apresentaram as menores médias de produtividade, altura de plantas além de ser os que menos acamaram (até no máximo 40% de plantas acamadas nas parcelas). Por sua vez, aqueles híbridos considerados os superiores se distribuíram nos grupos 1 e 2 por meio deste agrupamento, sendo que H₁₁ e H₃₄ no primeiro grupo e H₃₆ e H₅₆ no segundo grupo, sugerindo que, estes híbridos, e seus respectivos genitores, possam ser utilizados em futuros trabalhos com diversidade genética de sorgo granífero.

Tabela 6 – Agrupamento dos 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT pelo método UPGMA, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de distância genética.

Grupo	Híbridos
I	H ₂₁ H ₂₂ H ₂₆ H ₂₃ H ₃₃ H ₇₂ H ₇₃ H ₁₂ H ₅₂ H ₄₅ H ₂₄ H ₃₄ H ₃₅ H ₅₃ H ₇₆ H ₆₆ H ₁₆ H ₇₄ H ₂₅ H ₆₁ H ₇₁ H ₁₁
II	H ₃₁ H ₃₂ H ₃₆ H ₅₆
III	H ₄₁ H ₅₅ H ₄₆ H ₅₁ H ₄₃ H ₆₃ H ₄₂ H ₁₃ H ₆₂
IV	H ₅₄ H ₆₄ H ₁₅ H ₆₅ H ₇₅ H ₄₄ H ₁₄

Além da representação das distâncias em estudos multivariados utilizando árvores (dendrogramas), outro método utilizado é a projeção bidimensional (2D). Este método representado na forma de gráfico demonstra concordância com o agrupamento UPGMA, uma vez que os grupos formados no ponto em que houve um corte do dendrograma podem ser facilmente visualizados pela projeção 2D (Figura 4). Essa concordância entre os métodos evidencia de imediato elevada confiabilidade na realização de inferências por meio das medidas de dissimilaridade ao preservar as reais distâncias entre os pares de genótipos avaliados.

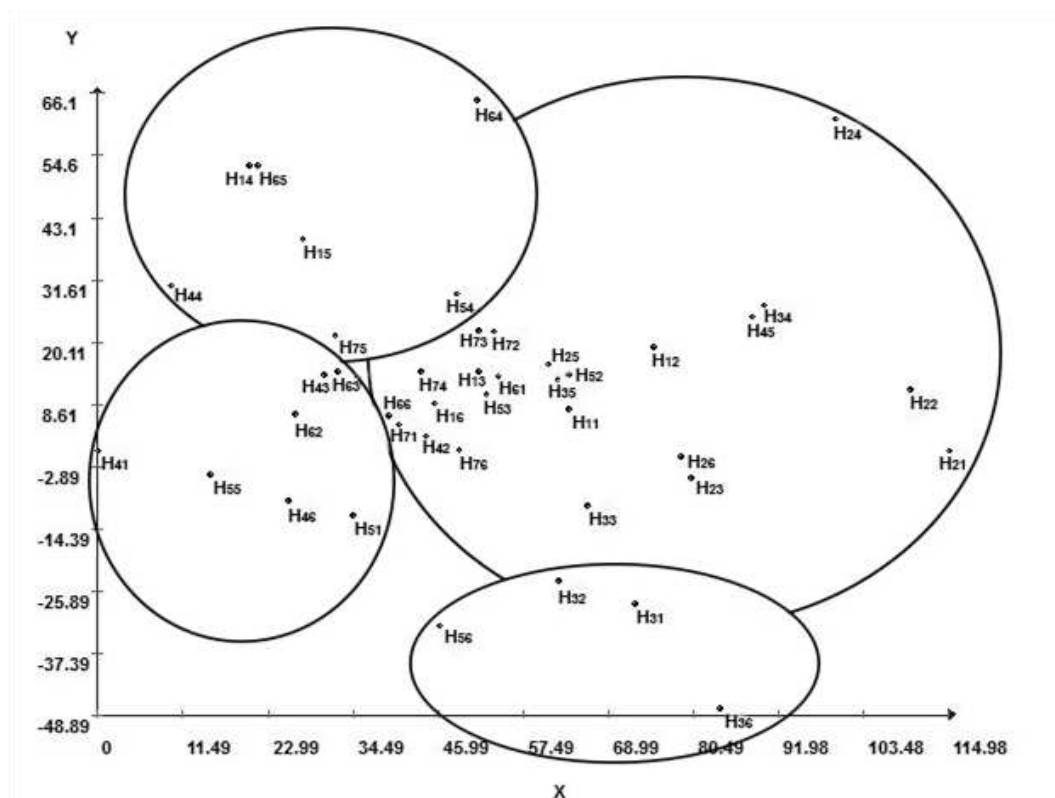


Figura 4 – Projeção em espaço bidimensional dos 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT, utilizando a distância de Mahalanobis como medida de distância genética.

O agrupamento de Tocher, modificado por Vasconcelos et al. (2007), com base na matriz de distância generalizada de Mahalanobis permitiu a formação de nove grupos distintos (Tabela 7). O maior deles foi o grupo II, composto por 12 híbridos (H₁₆, H₇₄, H₂₅, H₆₁, H₇₁, H₇₂, H₅₂ H₁₂, H₁₁, H₅₃, H₇₆ e H₆₆), o que corresponde a 28,5% dos genótipos analisados. Os demais grupos, em sua maioria, são formados por pelo menos 4 acessos. A formação de grupos deste método estabelece que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. Além disso, é uma técnica de otimização que agrupa os indivíduos mantendo o critério de que as distâncias intragrupos sejam sempre menores do que as intergrupos (Cruz et al., 2012).

Tabela 7 – Agrupamento dos 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT pelo método de Tocher modificado por Vasconcelos et al. (2007), utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de distância genética.

Grupo	Híbridos
I	H ₂₁ H ₂₂ H ₄₅ H ₂₃ H ₃₃ H ₂₆
II	H ₁₆ , H ₇₄ , H ₂₅ , H ₆₁ , H ₇₁ , H ₇₂ , H ₅₂ H ₁₂ , H ₁₁ , H ₅₃ , H ₇₆ e H ₆₆
III	H ₃₁ H ₃₂ H ₃₆ H ₅₆
IV	H ₁₅ H ₆₅ H ₇₅ H ₄₄
V	H ₄₃ H ₆₃ H ₄₂ H ₆₂ H ₁₃ H ₄₆ H ₅₁
VI	H ₄₁ H ₅₅
VII	H ₅₄ H ₆₄ H ₇₃ H ₂₄
VIII	H ₃₄ H ₃₅
IX	H ₁₄

É importante ressaltar que quando o método de Tocher passa de simultâneo para sequencial passa-se a utilizar um critério local para definir o critério de inclusão de um acesso. O valor deste critério de agrupamento, estimado após a formação de um novo grupo, possui proporcionalidade quanto à dissimilaridade existente entre os acessos deste grupo (Vasconcelos et al., 2007).

Os híbridos avaliados como superiores pelas demais análises (H₁₁, H₃₄, H₃₆ e H₅₆) se dividiram em três grupos pelo método de Tocher modificado da seguinte maneira: Os híbridos H₃₆ e H₅₆ se alocaram no grupo III, o híbrido H₃₄ no grupo VIII, enquanto o híbrido H₁₁ se agrupou no maior conjunto (grupo II).

A concordância existente entre essas duas técnicas de agrupamento pode ser visualizada ao observar que o método UPGMA formou quatro grandes grupos que nada

mais são do que a junção de alguns grupos do método de Tocher modificado, sem que haja a divisão de híbridos pertencentes a um mesmo grupo. A exceção observada foi no grupo VII de Tocher, onde, os híbridos H₇₃ e H₂₄ estiveram presentes no grupo I gerado pelo método UPGMA enquanto os outros dois híbridos, H₅₄ e H₆₄, foram alocados para o grupo IV. Por sua vez, o grupo II do UPGMA e o grupo III do método de Tocher modificado, são compostos exatamente pelos mesmos indivíduos, sendo que dois dos híbridos presente nestes grupos são alguns dos melhores já mencionados acima.

Esta concordância observada entre os dois métodos de agrupamento têm sido observada em outras culturas como no trigo (Bertan et al., 2006). Estes autores constataram que o método UPGMA e o método de Tocher (original) apresentaram resultados similares na representação dos genótipos mais divergentes.

A contribuição relativa de cada um das seis características para a dissimilaridade genética entre os 42 híbridos de sorgo granífero, conforme proposto por Singh (1981), pode ser observada na Figura 5. As características que mais contribuíram para a dissimilaridade genética foram FLO (24,33%), ALT (27,59%) e PROD (16,80%) e as que menos contribuíram foram ACAM (11,64%), ANT (9,16%) e SG (10,48%). Assim, caso seja necessário o descarte de alguma variável, a recomendação é que incidência de antracnose (ANT) seja descartada.

Assim como observado no presente estudo, ao avaliar genótipos de sorgo sacarino, Oliveira (2015) relatou que as variáveis que mais contribuíram para a diversidade genética foram altura de plantas (48,73%) e número de dias para florescimento (26,86%). Isso demonstra que estas podem ser características de importância para estimar a divergência genética na cultura do sorgo.

Da mesma forma, Silva et al. (2016) em experimentos realizados com milho-verde, observaram que características relacionadas à produtividade, ciclo e altura também são as que mais exerceram influência para a diversidade genética. Neste estudo, ciclo, masculino, ciclo feminino, rendimento de espigas empalhadas e altura de inserção da espiga principal contribuíram com 16,66%, 11,28%, 12,51% e 12,05%, respectivamente, para a diversidade genética em milho-verde.

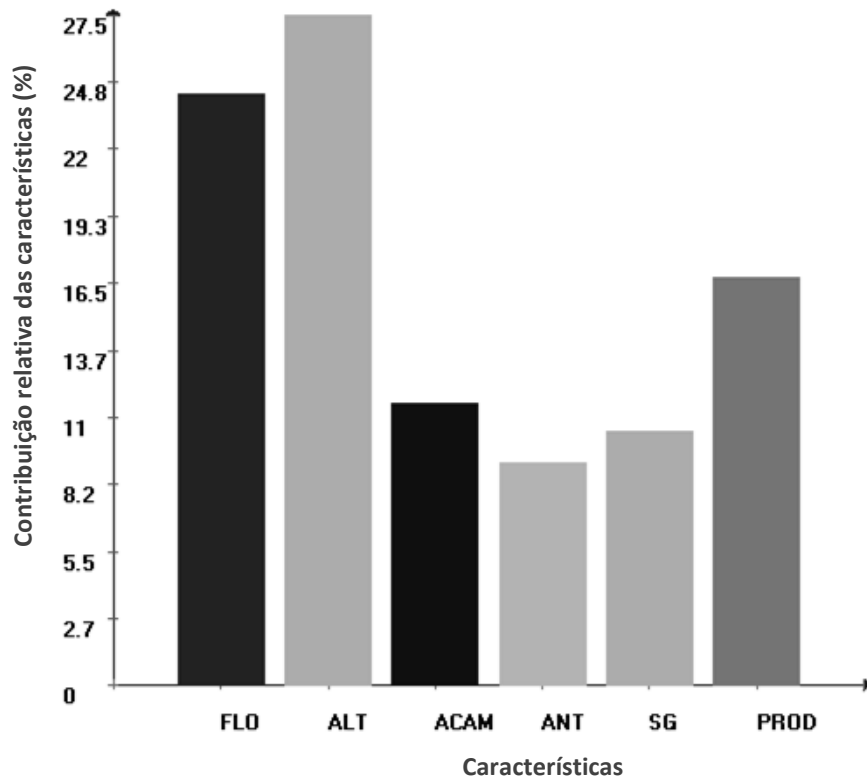


Figura 5 – Contribuição relativa das características dias para florescimento (FLO); altura de planta (ALT); acamamento (ACAM); incidência de antracnose (ANT); *stay green* (SG); produtividade de grãos (PROD) para a diversidade genética em 42 híbridos de sorgo granífero cultivados em 2012 em Sinop/MT via metodologia de Singh (1981).

6. CONCLUSÕES

Os genitores avaliados e considerados mais promissores foram 3 e 5 das linhagens restauradoras (linhagem R) e 1 e 6 das linhagens A.

Os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos para a maioria das características.

Os híbridos H_{11} , H_{34} , H_{36} e H_{56} são os mais indicados para o cultivo na região de Sinop, Mato Grosso, pois possuem pelo menos um genitor com estimativas favoráveis de CGC além de apresentarem boa estimativa de CEC para as características de interesse dias para florescimento, altura de plantas e produtividade de grãos.

Foi possível detectar variabilidade genética entre os híbridos avaliados, pelos métodos de agrupamento utilizados e pela significância dos híbridos na análise dialética.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN F. D.; PARRELLA, R. A. C.; GUIMARÃES, A. D.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 39(1): 69-85, 2012.
- BAUMHARDT, R.L.; HOWELL, T.A. Seeding practices, cultivar maturity, and irrigation effects on simulated grain sorghum yield. *Agronomy Journal*, Madison, 98(3): 462-470, 2006.
- BAUMHARDT, R.L.; TOLK, J.A.; WINTER, S.R. Seeding practices and cultivar maturity effects on simulated dryland grain sorghum yield. *Agronomy Journal*, Madison, 97(3): 935-942, 2005.
- BERTAN, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VIEIRA, E.A.; HARTWIG, I.; SILVA, J.A.G.; SHIMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; BUSATO, C.C.; RBEIRO, G. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. *Revista Brasileira de Agrociência*. 3: 279-286, 2006.
- BUSSAB, W.O.; MIAZAKI, E.S.; ANDRADE, D. Introdução à análise de agrupamentos. Associação Brasileira de Estatística, São Paulo, 1990.
- CHASE, D.C. Cytoplasmic male sterility: a window to the world of plant mitochondrialnuclear interactions. *Trends in Genetics*, Amsterdam, 2: 81-90, 2006.
- CLAYTON, W.D.; RENVOIZE, S.A. *Genera Graminum*. Royal Botanic Gardens, London. 389 pp, 1986.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Perspectivas para a Agropecuária - Safra 2017/2018*. Brasília, v.3, 2018. Disponível em: Acesso em: 23/05/2018.
- CONNER, A.B.; KARPER, R.E. Hybrid vigor in sorghum. *Texas Experiment Stations Bulletin no 359*. Texas A&M University, Texas, USA. 1927.
- COSTA, R. V.; SILVA D. D.; COTA, L.V. Antracnose Foliar do Sorgo. Comunicado técnico 196. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2013.
- COTA, L. V.; COSTA, R. V.; CASELA, C. R. Cultivo do Sorgo: Sistemas de Produção. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2010.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy* 35: 271-276, 2013.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Volume 2. Editora UFV, Viçosa. 2003.
- CRUZ, C.D.; MEDEIROS, F.F.; PESSONI, L.A. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Editora UFV, Viçosa. 2011.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Editora UFV, Viçosa. 2012.

CRUZ, C.D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. Revista Brasileira de Genética, 12: 425-438, 1989.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Sistemas de Produção 2. ISSN 1679-012X. Versão eletrônica, 9.ed. Jul. 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Coarse grains. Disponível em <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

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

GITE, A.G. Combining ability analysis in rabi sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Dissertação (Mestrado). Institute Mahatma Phule Krishi Vidyapeeth, Maharashtra, India, 2015.

GRIFFING, B.A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Journal Biology Science 9: 463-493, 1956.

GUEDES, F. L.; TARDIN, F. D.; MAGALHAES, J. V.; NASCIMENTO, J. M. S.; SANTOS, F. G.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação fenotípica de linhagens de sorgo granífero quanto a tolerância a seca em pós-florescimento. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 4., 2007, São Lourenço. Melhoramento de plantas e agronegócio: Anais... Lavras: UFLA: SBMP, 2007.

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

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 2: 589-600, 2011.

LINKE, B.; BORNER, T. Mitochondrial effects on flower and pollen development Mitochondrion, 5: 389-402, 2005.

MAHALANOBIS, P. C. On the generalized distance in statistic. Proc. Nat. Inst. Sci. 2: 49-55, 1936.

MARCHESAN, C.B. Análise genética de um cruzamento dialélico parcial em pimentão visando caracteres agronômicos e resistência ao oídio. Dissertação (Mestrado). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2008.

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

MENEZES, C.B.; SANTOS, C.V.; JÚLIO, M.P.M.; SILVA, K.J.; SALDANHA, D.C.; TUMA, E.; SILVA, C.H.; TARDIN, F.D.; RODRIGUES, J.A.S. Capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero cultivados em segunda safra. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 127, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2015.

MOJENA, R. Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. Computer Journal. 20: 359-363, 1977.

MOLINA, L. R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J.; & FERREIRA, V. C. P. Avaliação agronômica de seis híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 52(4): 385-390, 2000.

MOLL, R.H.; LONNQUIST, J.H.; FORTUNO, J.V.; JOHNSON, E.C. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. Genetics, 52: 139-144, 1965.

MOTA, J.H.; BEVILAQUA, L.K.A.; MENEZES, C.B. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha em Jataí, GO. Revista de agricultura. 91(3): 240-248. 2016.

OLIVEIRA, I.C.M. Heterose e capacidade de combinação em cruzamentos dialélicos de sorgo biomassa. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

PARRELLA, R.A.; SCHAFFERT, R.E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A.F.; DAMASCENO, C.M.B. Desempenho agronômico de híbridos de sorgo biomassa. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2011.

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

PATERNIANI, E.; LONNQUIST, J.H. Heterosis in inter-racial crosses of corn (*Zea mays* L.). Crop Science, 3: 504-507, 1963.

PEREIRA, T.M.; ESPOSITO, D.P.; SOUZA, A.O.; COUTO, M.F.; CRUZ, C.D. Estudo comparativo dos métodos de agrupamento otimizados de Tocher e Tocher modificado. Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

PINTO, M.O.; BELICUAS, S.N.J.; MAGALHÃES, J.V.; PARRELLA, R.A.C.; SCHAFFERT, R.E.; MENEZES, C.B. 2012. Identificação de marcadores moleculares microsatélites associados à restauração da fertilidade em Sorgo. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012, Águas de Lindóia.

QUINBY, J.R. Sorghum improvement and the genetics of growth. College Station, Texas A&M University Press, Texas, 1974.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações no melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

REDDY, B.V.S.; RAMESH, S.R. Sweet sorghum a potencial alternative raw material for bioethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 1: 1-8. 2005.

REDDY, B.V.S.; STENHOUSE, J.W. Sorghum improvement for the semi-arid tropic region: past, current and future research thrusts in Asia. *Punjabrao Krishi Vidyapeeth Research Journal*, 18: 155-170, 1994.

RESENDE, M.D.V., DUARTE, J.B., Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesq. Agropec. Trop*, 37: 182-194, 2007.

RIBAS, P.M.. Cultivo de sorgo: Importância econômica. *Sistemas e Produção, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, 2007.

ROCHA JÚNIOR, V. R.; GONCALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; BRITO, A. F.; BORGES, I.; RODRIGUEZ, N. M. Avaliação de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagem. II. Padrão de fermentação. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 52(5): 10p, 2000.

RODRIGUES, E.V. Obtenção de população base em programa de seleção recorrente para tolerância ao déficit hídrico em feijão caupi. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

SANTANA, M.C.B.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; TARDIN, F.D.; MENEZES, C.B. Produtividade de grãos e parâmetros fisiológicos de sorgo granífero sob deficiência hídrica e irrigação plena. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 16(3): 361-372, 2017.

SANTOS, F.G.; CASELA, C.R.; WAQUIL, J.M. Melhoramento de Sorgo. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV – Universidade Federal de Viçosa. 2ª ed., p.605-658. 2005.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30: 507-512. 1974.

SILVA, K.J. Diversidade genética entre linhagens de sorgo granífero utilizando descritores morfoagronômicos e marcadores moleculares. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L.H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R.; TEIXEIRA, I. T. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 39(2): 168-174, 2009.

SILVA, D.F.G.; COELHO, C.J.; ROMANEK, C.; GARDINGO, J.R.; SILVA, A.R.; GRACZYKI, B.L.; OLIVEIRA, E.A.T.; MATIELLO, R.R. Genetic dissimilarity and definition of recombination clusters among green corn half-sib progenies. *Bragantia*, 75(4): 401-410, 2016.

SILVA, N.S.; MENEZES, C.B.; SILVA, K.J.; SANTOS, C.V.; JULIO, M.P.M.; SILVA, C.H.T. Performance agronômica de híbridos de sorgo granífero em Nova Porteirinha. Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas. 2015

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 4: 237-245, 1981.

SINGH, B.R.; SINGH, D.P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. Field Crop Research, Amsterdam, 42: 57-67, 1995.

SINHA, S.; KUMARAVADIVEL, N. Understanding Genetic Diversity of Sorghum Using Quantitative Traits. Scientifica. 2016: 3075023, 2016.

TARDIN, F.D., ALMEIDA FILHO, J.E., DAHEER, R.F.; MENEZES, C.B.; SILVA, K.J.; PAULA, C.M.; XAVIER NETO, J.B.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; GODINHO, V.P.C.; ANDRADE, F.F.; LOPES, V.S.; SCHAFFERT, R.E. Desempenho agronômico de híbridos de sorgo granífero cultivados em vários ambientes brasileiros. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012, Águas de Lindóia.

TARDIN, F.D.; ALMEIDA FILHO, J.E.; OLIVEIRA, C.M.; LEITE, C.E.P.; MENEZES, C.B.; MAGALHÃES, P.C.; RODRIGUES, J.A.S.; SCHAFFERT, R.E. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 12: 102-117, 2013.

TEODORO, P.E.; SILVA, K.J.; ZANATTO, I.B.; SPONCHIADO, S.; MENEZES, C.B.; TARDIN, F.D. Correlações canônicas na identificação de caracteres relacionados à precocidade e produtividade em híbridos de sorgo granífero. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2016, Bento Gonçalves.

VASCONCELOS, E.S.; CRUZ, C.D.; BHERING, L.L.; RESENDE JUNIOR, M.F.R. Método alternativo para análise de agrupamento. Pesq. agropec. bras., 42(10): 1421-1428, 2007.

VON PINHO, R.G.; VASCONCELOS, R.C.; BORGES, I.D.; RESENDE, A.V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. Bragantia 66: 235-245. 2007.

WILCHES, D.M. Evaluación de 34 variedades de mani mediante técnicas multivariadas. ICA, 18: 67-76. 1987.

ZANATTO, I. B; SPONCHIADO, S.; TEODORO, P. E.; SILVA, K. J.; MENEZES, C. B.; TARDIN, F. D. Revista Científica Intelletto. 1(1): 89-94. 2016.