

LARISSA PEREIRA RIBEIRO

**POTENCIAL DE HÍBRIDOS E CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE SORGO
GRANÍFERO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para 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

Ribeiro, Larissa Pereira, 1995-

R484p
2018

Potencial de híbridos e capacidade combinatória de sorgo granífero : . / Larissa Pereira Ribeiro. – Viçosa, MG, 2018. vii, 32f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Lopes Bhering.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Análise dialélica. 2. Dialelo parcial. 3. Interação G x A. 4. *Sorghum bicolor*. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Mestrado em Genética e Melhoramento. II. Título.


CDD 22. ed. 633.62

LARISSA PEREIRA RIBEIRO

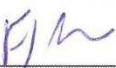
**POTENCIAL DE HÍBRIDOS E CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE SORGO
GRANÍFERO**

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


APROVADA: 23 de fevereiro de 2018.


Moysés Nascimento


Cosme Damião Cruz


Felipe Lopes da Silva


Flávio Dessaune Tardin


Leonardo Lopes Bhering
(Orientador)

A Deus, por me guiar em todo meu caminho.

OFEREÇO

Aos meus pais, José Antonio e Marlene, que sempre me apoiaram e se dedicaram à minha formação, me ensinando que as coisas mais importantes na vida são a educação e o conhecimento.

Ao meu noivo, Paulo Eduardo Teodoro, pelo amor, carinho, amizade, companheirismo e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, pela vida e por proporcionar tudo que sou e tenho.

Aos meus pais, Marlene Pereira Leite e José Antonio Ribeiro de Oliveira, pelo apoio, incentivo e por todo amor e carinho a mim dedicados.

Ao meu noivo, Paulo Eduardo Teodoro, por todo o amor, carinho, companheirismo e ajuda ao longo da minha formação acadêmica, sendo o meu suporte e minha inspiração durante esta caminhada.

Ao meu orientador Dr. Leonardo Lopes Bhering pelos ensinamentos, amizade e por ser um modelo de profissional a ser seguido.

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

Aos membros da banca, pela contribuição na melhoria deste trabalho.

Ao Professor Dr. Cosme Damião Cruz pelo brilhantismo, humildade e por ser um exemplo de profissional.

Ao Professor Dr. Pedro Crescêncio de Souza Carneiro pela excelência nas aulas, pelos conselhos e pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Aos meus amigos Erina Rodrigues, Lidiane Silva, Leonardo Peixoto, Bruno Lopes, Andreia Schuster, Arthur Elizeu e demais colegas do Laboratório de Biometria pelo companheirismo e aprendizagem.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela excelência e oportunidade de prosseguir meus estudos.

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

Aos secretários do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa por toda atenção, dedicação e serviços prestados durante o mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram com carinho, atenção, amizade, apoio e incentivo para a conclusão desta importante etapa da minha vida. Deixo aqui meus sinceros e eternos agradecimentos.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | vii |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. A cultura do sorgo..... | 3 |
| 2.2. Melhoramento genético do sorgo..... | 5 |
| 2.3. Análise dialélica..... | 7 |
| 3. OBJETIVOS..... | 9 |
| 3.1. Objetivo Geral..... | 9 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 9 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 10 |
| 4.1. Condução dos experimentos | 10 |
| 4.2. Análises genético-estatísticas | 12 |
| 5. RESULTADOS | 14 |
| 5.1. Capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero | 14 |
| 5.2. Potencial de híbridos de sorgo granífero | 19 |
| 6. DISCUSSÃO..... | 22 |
| 6.1. Impacto da capacidade combinatória no futuro do programa de melhoramento de sorgo granífero..... | 22 |
| 6.2. Seleção de híbridos de sorgo granífero para o Cerrado brasileiro | 25 |
| 7. CONCLUSÕES | 27 |
| 8. BIBLIOGRAFIA | 28 |

RESUMO

RIBEIRO, Larissa Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Potencial de híbridos e capacidade combinatória de sorgo granífero.** Orientador: Leonardo Lopes Bhering.

O sorgo granífero é considerado o quinto cereal mais cultivado no mundo, sendo uma importante fonte calórica na alimentação humana em países em desenvolvimento. No Brasil, o sorgo granífero é o principal substituto ao milho na formulação de rações para aves, suínos, bovinos e do segmento de *pet food*. Uma das grandes vantagens da cultura é sua tolerância à deficiência hídrica e solos com baixa fertilidade. Devido a estas características, o cultivo do sorgo tem se expandido durante a época da safrinha, período em que o volume e a frequência de chuvas costumam ser oscilantes e insuficientes. Na busca por cultivares mais adaptadas a estas condições, os programas de melhoramento de sorgo têm buscado novas combinações de híbridos com alto rendimento de grãos, altura de planta ideal para colheita mecanizada e precocidade. Diante deste cenário, os objetivos do trabalho foram: i) estimar a capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero, visando propor uma estratégia de melhoramento para desenvolvimento de novas linhagens macho-estéreis e linhagens restauradoras de fertilidade com potencial para confecção de híbridos com desempenho superior para os caracteres de interesse; ii) identificar híbridos que reúnam alta produtividade, precocidade, altura adequada à colheita e estabilidade fenotípica. Para tanto, 36 híbridos provenientes do cruzamento entre 12 linhagens de sorgo granífero (seis linhagens A x seis linhagens R) foram avaliados em experimentos conduzidos em Sinop, Mato Grosso, e em Sete Lagoas, Minas Gerais. Os caracteres avaliados foram: dias para o florescimento (DF), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PROD). Para a análise dialélica, adotou-se o método 4 de Griffing (1962) adaptado a dialelos parciais. Para identificar os cruzamentos que menos contribuiram para a interação $G \times A$ foi realizada análise de Wricke (1962). Todas as análises foram realizadas com o software Genes. Cruzamentos múltiplos devem ser realizados para reunir os alelos favoráveis para os caracteres avaliados em novas linhagens restauradoras e macho-estéreis. Os híbridos 7, 9, 19 e 22 são os mais indicados para cultivo nos ambientes avaliados, pois possuem alta precocidade, porte adequado à colheita e alta produtividade de grãos, além de alta estabilidade fenotípica para estes caracteres.

ABSTRACT

RIBEIRO, Larissa Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Hybrids potential and combining ability of grain sorghum.** Adviser: Leonardo Lopes Bhering.

Grain sorghum is considered the fifth most cultivated cereal in the world, being an important caloric source in human food in developing countries. In Brazil, grain sorghum is the main substitute for maize in feed formulation for poultry, pigs, cattle and pet food segment. One of the great crop advantages is its tolerance to water deficit and low fertility soils. Due to these characteristics, sorghum growing has expanded during the off-season, period in which the volume and frequency of rainfall are often oscillating and insufficient. In the search for cultivars better adapted to these conditions, sorghum breeding programs have sought new combinations of hybrids with high grain yield, ideal plant height to harvesting and earliness. Thus, the objectives of this study were: i) to estimate the combining ability of grain sorghum lines, aiming at proposing a breeding strategy for developing new male-sterile and fertility restorative lines with potential for obtaining hybrids with superior performance for the traits of interest; ii) to identify hybrids that meet high yield, earliness, adequate height to harvesting and phenotypic stability. Thirty-six hybrids from the crosses of 12 grain sorghum lines (six lines A x six lines R) were evaluated in experiments conducted in Sinop, Mato Grosso, and Sete Lagoas, Minas Gerais. The evaluated traits were: days to flowering (DF), plant height (PH) and grain yield (YIE). For the diallel analysis, the model proposed by Geraldi and Miranda Filho, adapted for partial diallel was adopted. To identify the crosses that contributed least to the G x E interaction, Wricke (1962) analysis was performed. All analyses were performed with Genes software. Multiple crosses should be performed to gather the favorable alleles for the traits evaluated in new restorative and male-sterile lines. Hybrids 7, 9, 19 and 22 are the most suitable for growing in the evaluated environments, since they have high earliness, adequate height to harvesting and high grain yield, as well as high phenotypic stability for these traits.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é considerado o quinto cereal mais cultivado no mundo, sendo uma importante fonte calórica na alimentação humana em países em desenvolvimento (Premalatha et al., 2006; Mutisya et al., 2009; Kumar et al., 2011). No Brasil, o sorgo granífero é o principal substituto ao milho na formulação de rações para aves, suínos, bovinos e do segmento de *pet food* (Rodrigues et al., 2012). Uma das grandes vantagens da cultura é sua adaptação a diversos ambientes, por apresentar maior tolerância à deficiência hídrica e solos com baixa fertilidade, em comparação com outras culturas de grãos. Seu cultivo tem sido muito utilizado na safrinha, onde o desempenho tem sido melhor que o da cultura do milho (Von Pinho et al., 2007).

Pelas suas características xerófitas, o sorgo granífero apresenta potencial em plantio de sucessão, especialmente durante a segunda safra, conhecida como safrinha (Magalhães et al., 2008). Na época em que ocorre o desenvolvimento da safrinha, o volume e a frequência de chuvas costumam ser oscilantes e insuficientes (Almeida Filho et al., 2010), especialmente na região do Cerrado brasileiro. Na busca por cultivares mais adaptadas a estas condições, os programas de melhoramento de sorgo granífero têm buscado novas combinações de híbridos com alto rendimento de grãos, altura de planta ideal para colheita e precocidade (Kumar et al., 2011; Tardin et al., 2013).

A época de florescimento tem alta correlação com o ciclo da cultura, e é uma importante medida para o sorgo safrinha por ser uma fase muito sensível ao estresse hídrico, e quanto mais cedo a planta completar seu ciclo, em cultivos de safrinha, maior chance ela terá de escapar do período seco (Menezes et al., 2015). Além disso, é desejável altura de plantas entre 1 e 1,5 m, por facilitar a colheita com colhedoras adaptadas de soja ou milho (Tardin et al., 2013). Contudo, caracteres como rendimento e seus componentes são governados por muitos genes com ação gênica complexa, e conseqüentemente o entendimento da natureza e da magnitude

dos genes envolvidos no controle destas características auxiliam o melhorista na escolha do método de melhoramento mais apropriado (Premalatha et al., 2006).

Uma das decisões importantes em programas de melhoramento é a escolha das populações a serem utilizadas, pois são nessas populações que devem se concentrar os alelos favoráveis para as características de interesse, permitindo a obtenção de híbridos superiores (Premalatha et al., 2006; Menezes et al., 2014). As análises dialélicas são fundamentais para a tomada de decisão acerca da formação da população base, possibilitando a escolha de genitores promissores com base nas estimativas de capacidade de combinação. Além disso, a análise de cruzamentos dialélicos contribui para o entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz e Vencovsky, 1989; Goyal e Kumar, 1991; Kenga et al., 2004). Portanto, o estudo da capacidade combinatória fornece informações importantes para o planejamento de programas de melhoramento.

Devido o cultivo do sorgo ser realizado em diversas regiões brasileiras com diferentes condições edafoclimáticas, torna-se difícil uma recomendação generalizada de híbridos, uma vez que híbridos adaptados a uma condição específica não exibem desempenho superior em diferentes condições ambientais (Teodoro et al., 2016). A resposta diferencial dos genótipos à variação do ambiente é conhecida como interação genótipos x ambientes ($G \times A$), a qual dificulta a seleção de genótipos (Cruz et al., 2012).

Para diminuir o efeito da interação $G \times A$, a condução dos experimentos no maior número possível de locais e anos é necessária (Becker e Léon, 1988; Sharma, 2006; Almeida Filho et al., 2010; Teodoro et al., 2016). Neste contexto, análises dialélicas realizadas em vários ambientes podem tornar os programas de melhoramento ainda mais eficientes. Contudo, estudos sobre análise dialélica avaliados em diferentes ambientes são escassos na literatura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do sorgo

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma espécie tropical originária da África, pertencente à família Poaceae, considerado um dos cereais mais importantes, amplamente cultivado para alimentação, ração, forragem e combustível (Kumar et al., 2011; Menezes et al., 2014). É uma planta de metabolismo C₄, com alta eficiência fotossintética e maior tolerância a estresses abióticos, especialmente ao estresse hídrico (Reddy et al., 2009; Assefa et al., 2010; Boyles et al., 2017; Schlegel et al., 2018). A cultura requer menor quantidade de água para seu desenvolvimento quando comparada a culturas como trigo e milho (Magalhães et al., 2008).

Agronomicamente, os sorgos são classificados em cinco grupos: i) granífero, que inclui genótipos de porte baixo adaptados à colheita mecânica, cujo principal produto de utilização é o grão; ii) forrageiro, constituído de plantas de porte mais alto cuja biomassa é utilizada na confecção de silagem, massa verde e feno; iii) sacarino, cujos genótipos são utilizados para produção de etanol de primeira e segunda geração; iv) biomassa, que são materiais com rápido crescimento e alto poder produtivo, sendo destinados à usinas termoelétricas e indústrias; e v) vassoura, constituído de genótipos cujas panículas são destinadas à confecção de vassouras e fabricação de artesanatos (Ribas, 2007).

Dentre os cinco grupos, o sorgo granífero é o que possui maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados no mundo, atrás do arroz, milho, trigo e cevada. A área plantada no mundo é de 41,98 milhões de ha, com uma produção de 63 milhões de toneladas (USDA, 2017). No Brasil, o sorgo é a sétima cultura mais plantada, com uma área de cultivo de 628,5 mil ha, distribuída predominantemente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste. Os maiores produtores são os Estados de Goiás, Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso, com áreas de 230,1 mil, 183,1 mil, 98,5 mil e 38,5 mil ha, respectivamente. A produtividade média nacional estimada na safra 2016/2017 foi de 2.967 kg ha⁻¹, a qual representou um incremento de 66,5% em relação à safra anterior, que foi de 1.782 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Magalhães et al. (2008) relatam que o sorgo é uma planta de dia curto, e que devido à sua origem tropical, requer temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento, sendo que a temperatura ótima da cultura está por volta de 33-34°C. De acordo com os mesmos autores, o sorgo tolera mais o déficit de água no solo do que a maioria dos outros cereais, uma vez que ele necessita de 330 litros de água para produzir 1 kg de matéria seca, enquanto o milho e o trigo necessitam de aproximadamente 370 e 500 litros, respectivamente.

A tolerância à seca torna o sorgo especialmente importante em regiões áridas e semi-áridas do planeta, como nordeste da África, Índia e planícies do sul dos Estados Unidos (Paterson et al., 2009). No Brasil, o cultivo de sorgo durante o período de segunda safra, conhecido como safrinha, tem apresentado grande expansão em diversas regiões agrícolas (Tardin et al., 2013). Na época em que ocorre a semeadura do sorgo, entre os meses de janeiro a março, além dos fatores temperatura e luminosidade, o volume e a frequência de chuvas costumam ser oscilantes e insuficientes, reduzindo a probabilidade do adequado atendimento da demanda hídrica da maioria das culturas (Goes et al., 2011). Portanto, a utilização do sorgo no cultivo de safrinha é uma importante alternativa.

Estudos recentes sobre mudanças climáticas apontam para o aumento da temperatura do ar e da ocorrência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e secas (Menezes et al., 2015). Assim, culturas com baixa exigência hídrica e mecanismos de resistência a períodos com baixa precipitação serão de grande importância no mercado agrícola. Segundo Reddy et al. (2011), o sorgo é uma das culturas que podem melhor se adaptar às condições de mudança climática.

Neste cenário, visando a obtenção de cultivares mais adaptadas a estas condições, os programas de melhoramento de sorgo têm buscado novas combinações de híbridos com alto rendimento de grãos, altura de planta ideal para colheita, precocidade, tolerância a doenças foliares e qualidade de grãos (Menezes et al., 2015).

2.2. Melhoramento genético do sorgo

O sorgo é uma espécie diploide ($2n = 2x = 20$ cromossomos), cujo modo de reprodução é predominantemente por autofecundação, com uma taxa de fecundação cruzada variando de 2 a 10% (Kumar et al., 2011). Por esta razão, os programas de desenvolvimento de variedades de sorgo tiveram como base a autofecundação, possibilitando o estabelecimento da cultura como alternativa viável em regiões importantes, sobretudo nos Estados Unidos, antes da era do híbrido. Atualmente essas linhagens atuam como base no desenvolvimento dos híbridos (Smith e Frederiksen, 2005).

O cultivo do sorgo granífero baseia-se no uso de sementes híbridas. Apesar de ser uma espécie autógama, o vigor híbrido é amplamente explorado nos programas de melhoramento. O termo vigor híbrido ou heterose foi proposto por Shull, em 1908, e é definido como a superioridade da geração F1 (híbrido) em relação à média dos seus genitores. A heterose é expressa quando há genes com algum grau de dominância entre eles, podendo ser parcial, completa ou sobredominância (Falconer e Mackay, 1996).

Apesar do efeito heterótico se manifestar, em geral, de maneira menos efetiva em espécies autógamas em relação às alogámas, o sucesso com a exploração da heterose em sorgo tem sido relatado na literatura, especialmente para os caracteres relacionados ao rendimento de grãos (Scapim et al., 1998; Senthil et al., 1998; Premalatha et al., 2006; Kumar et al., 2011). Manifestações de heterose em sorgo foram descritas pela primeira vez por Conner e Karper (1927), citados por Quinby (1974), 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 genético-citoplasmática é uma condição de herança materna em que uma planta é incapaz de produzir pólen funcional (Schnable e Wiseb, 1998). Em sorgo, a macho-esterilidade genético-citoplasmática é causada por uma interação de fatores indutores de esterilidade no citoplasma com fatores genéticos no núcleo (Murty et al., 1994), e resulta da

combinação de citoplasma Milo e genes Kafir. A macho-esterilidade genético-citoplasmática é controlada pela presença do alelo recessivo *ms*, que interage com o citoplasma estéril (Maunder e Pickett, 1959). Todos os descendentes de plantas macho-estéreis possuem o citoplasma macho-estéril, mas podem ser férteis, dependendo dos genes nucleares presentes na planta usada como polinizadora. O descobrimento da macho-esterilidade genético-citoplasmática em sorgo é considerado de grande importância, uma vez que possibilitou a produção econômica de sementes híbridas (Reddy e Ramesh, 2005).

Os híbridos são produzidos pelo cruzamento entre uma linhagem macho-estéril, denominada A, e uma linhagem restauradora de fertilidade, denominada R, a qual é portadora do alelo dominante *Ms*, que encobre a expressão do alelo que condiciona a macho-esterilidade (Maunder e Pickett, 1958), possibilitando, assim, a obtenção de híbridos férteis. A linhagem A é produzida pela polinização de plantas macho-estéreis com pólen de uma linhagem mantenedora, denominada B, a qual possui mesma constituição genética de A, porém é macho fértil devido possuir citoplasma normal. As sementes produzidas pelo cruzamento entre as linhagens A e B resultarão em plantas A (macho-estéreis) devido ao citoplasma estéril herdado da linhagem A (fêmea), ou seja, a linhagem B não restaura a fertilidade na linhagem A (Parrella et al., 2011).

O cruzamento de linhagens A e R visando a produção de sementes híbridas em escala comercial deve ser feita em campos isolados. Adota-se uma proporção de três fileiras da linhagem A para uma fileira da linhagem R, e a semeadura destas deve ser realizada buscando a coincidência no período de florescimento das duas linhagens. Portanto, a produção de sementes híbridas de sorgo necessita de duas gerações, sendo uma para multiplicação das sementes das linhagens A e R, separadamente, e outra para produzir a semente híbrida de A com R (Parrella et al., 2011). A linhagem R não é fenotipicamente similar à linhagem A, e a combinação delas deverá resultar em um híbrido de alto potencial de rendimento (House, 1985).

A principal característica utilizada para a seleção de híbridos de sorgo granífero é o rendimento de grãos, a qual exige a implantação de experimentos em vários locais e anos para a seleção das combinações mais promissoras. 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 são muito tardias (Menezes et al., 2015). Assim, a avaliação das características altura e florescimento é de interesse para os programas de melhoramento, uma vez que, por serem menos influenciadas pelo ambiente, possibilitam a seleção precoce das melhores linhagens, gerando economia de tempo e reduzindo a área de experimentação no campo.

2.3. Análise dialélica

As metodologias de análise dialélica têm por finalidade analisar o delineamento genético, fornecendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de progenitores para formação da população base para a obtenção de híbridos e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos no controle dos caracteres. A partir deste tipo de delineamento genético de cruzamentos, é possível estimar parâmetros genéticos de interesse presentes nas linhagens e nas combinações híbridas, como capacidade combinatória e heterose e seus componentes (Cruz et al., 2012).

Informações sobre a capacidade de combinação são necessárias para identificar os pais e híbridos potencialmente superiores, e também para auxiliar na definição acerca do padrão dos efeitos genéticos na expressão de caracteres quantitativos (Goyal e Kumar, 1991). Nos cruzamentos dialélicos, a capacidade combinatória é dividida em capacidade geral (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). A capacidade geral de combinação (CGC) refere-se ao comportamento médio de um progenitor numa série de combinações híbridas. Por sua vez, a capacidade específica de combinação (CEC) estima os desvios do comportamento de um híbrido em relação ao esperado com base na CGC (Cruz e Vencovsky, 1989).

A CGC de cada genitor deve ser examinada quando o objetivo é o desenvolvimento de genótipos superiores, enquanto os efeitos da CEC fornecem informações sobre o desempenho dos híbridos (Cruz et al., 2012). As diferenças na CGC são principalmente decorrentes dos efeitos genéticos aditivos e interações aditivas de ordem superior, enquanto as diferenças em CEC são atribuídas aos efeitos de dominância e epistasia (Falconer e Mackay, 1996). As análises das CGC e CEC permitem inferir sobre a natureza dos efeitos genéticos para uma característica em seleção (Kenga et al., 2004).

Os efeitos de CEC medem o grau de complementação alélica dos genótipos da população, e devem ser usados em combinação com outros parâmetros, como as médias dos híbridos e a CGC dos respectivos pais. Assim, a combinação híbrida mais favorável deve ser aquela que apresentar maior estimativa de CEC e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos parentais apresente elevada CGC (Cruz et al., 2012), uma vez que sob tais condições há uma maior concentração de alelos favoráveis (Kenga et al., 2004).

Entre as metodologias mais comumente utilizadas, cita-se a proposta por Griffing (1956), pela qual são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação. Diversos tipos de dialelo têm sido empregados, dentre os quais se destacam os dialelos parciais, utilizado em situações em que se dispõe de um grande número de progenitores. Os dialelos parciais tem por finalidade viabilizar o estudo da capacidade combinatória de um conjunto relativamente grande de progenitores, possibilitado pela avaliação de progenitores dispostos em dois grupos, sendo as inferências feitas para cada grupo (Cruz et al., 2012).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Estimar a capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero cultivadas em dois locais do Cerrado brasileiro, visando recomendar linhagens promissoras para a obtenção de híbridos agronomicamente superiores.

3.2. Objetivos Específicos

- i) Propor uma estratégia de melhoramento para desenvolvimento de novas linhagens macho-estéreis e linhagens restauradoras de fertilidade com potencial para confecção de híbridos com desempenho superior para os caracteres de interesse;
- ii) Identificar híbridos que reúnam alta produtividade, precocidade, altura adequada à colheita e estabilidade fenotípica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Condução dos experimentos

Foram adquiridos dados provenientes de ensaios conduzidos na safra de 2011/2012 na Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop, Mato Grosso, e na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais, de 36 híbridos de sorgo granífero. As características edafoclimáticas dos ambientes estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1. Características edafoclimáticas dos ambientes avaliados.

| Município | Altitude (m) | Latitude (S) | Longitude (W) | Precipitação anual (mm) | Temperatura média anual (°C) | Clima ¹ |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Sinop-MT | 370 | 11°51'43" | -55°36'45" | 2250 | 25 | Aw |
| Sete Lagoas-MG | 761 | 19°27'57" | 44°14'48' | 1403 | 23 | Aw |

¹: de acordo com a classificação de Köppen.

Para a condução destes ensaios, foram utilizadas 12 linhagens de sorgo granífero (seis linhagens A, sendo: F1-A, F2-A, F3-A, F4-A, F5-A e F6-A; e seis linhagens R: M1, M2, M3, M4, M5 e M6), provenientes do programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, divididas em dois grupos (I e II) de acordo com a presença ou ausência da macho-esterilidade genético-citoplasmática. O Grupo I foi formado por seis linhagens restauradoras de fertilidade (Linhagens R), ou seja, machos férteis. O Grupo II foi composto por seis linhagens macho-estéreis (Linhagens A), utilizadas como fêmeas (Tabela 2). Os cruzamentos para obtenção dos híbridos foram conduzidos de forma manual e controlada, de acordo com o modelo de cruzamentos dialélicos parciais entre os grupos, no qual as seis fêmeas do Grupo II foram cruzadas com os seis machos do Grupo I, obtendo-se um total de 36 híbridos.

Tabela 2. Fonte e codificação dos 36 híbridos provenientes do cruzamento entre 12 linhagens de sorgo granífero, avaliados em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

| Fonte | Codificação | | | Fonte | Codificação | | |
|----------|-------------|------------|------------|----------|-------------|------------|------------|
| | Híbrido | Linhagem R | Linhagem A | | Híbrido | Linhagem R | Linhagem A |
| 1173-015 | 1 | 1 | 1 | 1173-375 | 19 | 4 | 1 |
| 1173-001 | 2 | 1 | 2 | 1173-361 | 20 | 4 | 2 |
| 1173-003 | 3 | 1 | 3 | 1173-363 | 21 | 4 | 3 |
| 1173-013 | 4 | 1 | 4 | 1173-373 | 22 | 4 | 4 |
| 1173-049 | 5 | 1 | 5 | 1173-409 | 23 | 4 | 5 |
| 1173-051 | 6 | 1 | 6 | 1173-411 | 24 | 4 | 6 |
| 1173-135 | 7 | 2 | 1 | 1173-615 | 25 | 5 | 1 |
| 1173-121 | 8 | 2 | 2 | 1173-601 | 26 | 5 | 2 |
| 1173-123 | 9 | 2 | 3 | 1173-603 | 27 | 5 | 3 |
| 1173-133 | 10 | 2 | 4 | 1173-613 | 28 | 5 | 4 |
| 1173-169 | 11 | 2 | 5 | 1173-649 | 29 | 5 | 5 |
| 1173-171 | 12 | 2 | 6 | 1173-651 | 30 | 5 | 6 |
| 1173-255 | 13 | 3 | 1 | 1173-735 | 31 | 6 | 1 |
| 1173-241 | 14 | 3 | 2 | 1173-721 | 32 | 6 | 2 |
| 1173-243 | 15 | 3 | 3 | 1173-723 | 33 | 6 | 3 |
| 1173-253 | 16 | 3 | 4 | 1173-733 | 34 | 6 | 4 |
| 1173-289 | 17 | 3 | 5 | 1173-769 | 35 | 6 | 5 |
| 1173-291 | 18 | 3 | 6 | 1173-771 | 36 | 6 | 6 |

A semeadura das linhas fêmeas e machos foi escalonada a fim de coincidir a época de floração dos mesmos, sendo a semeadura das linhas fêmeas realizada dez dias após a semeadura das linhas machos. As linhas de cruzamentos foram compostas por 50 plantas, distribuídas em cinco metros e espaçadas em 0,7 metros. A semeadura das linhas fêmeas e machos foi realizada de forma alternada no campo, sendo cada linhagem fêmea semeada seis vezes e alternada com os seis machos, possibilitando a realização dos cruzamentos de acordo com o dialelo parcial. Após o início da floração, as panículas dos genitores foram devidamente protegidas com saco de papel, e os cruzamentos realizados de acordo com a maturação dos aparelhos reprodutores masculino e feminino. As polinizações manuais consistiram na coleta do pólen das linhagens

macho (Grupo I) em saco de papel para cruzamento, seguida da derriça de pólen nos estigmas das linhagens macho-estéreis (Grupo II). Os cruzamentos foram realizados na parte da manhã, quando os grãos de pólen estão mais abundantes e os estigmas receptivos.

Os 36 híbridos provenientes do cruzamento entre as 12 linhagens de sorgo granífero foram avaliados em experimentos instalados em condições de sequeiro, com semeadura realizada no dia 10 de março de 2012. Aos 15 dias após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo-se uma população de 180.000 plantas ha⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com duas repetições. Cada parcela foi composta por duas fileiras de cinco metros e espaçamento de 0,50 m entre linhas. As adubações de semeadura e de cobertura foram realizadas com base nas análises de solo, e os tratos culturais e fitossanitários ocorreram de acordo com a necessidade da cultura.

Os caracteres avaliados foram: dias para o florescimento (DF), mensurado pela contagem de dias decorridos da semeadura até o florescimento de 50% das plantas pertencentes à área útil da parcela; altura de plantas (AP), mensurada em metros, medida do colo da planta até a ponta da panícula; e produtividade de grãos (PROD), sendo corrigida para 13% de umidade e extrapolada para t ha⁻¹.

4.2. Análises genético-estatísticas

Inicialmente, foi realizada análise de variância conjunta de acordo com o modelo estatístico descrito a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + B/A_{jk} + G_i + A_j + G \times A_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que: Y_{ijk} é a observação no k-ésimo bloco, avaliada no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente; μ é a média geral dos experimentos; B/A_{jk} é o efeito do bloco k dentro do ambiente j; G_i é o efeito do i-ésimo genótipo considerado como fixo; A_j é o efeito do j-ésimo ambiente considerado como aleatório; $G \times A_{ij}$ é o efeito aleatório da interação entre o genótipo i e o ambiente j; e_{ijk} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

Posteriormente, foi realizado o desdobramento do efeito de genótipos e da interação G x A em cada local de acordo com a estrutura do dialelo parcial. Foi adotado o Método 4 de Griffing (1956) adaptado a dialelos parciais, que estima os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) de cada parental e os efeitos da capacidade específica de combinação (CEC), utilizando-se somente os híbridos F1's, segundo modelo abaixo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g'_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij} \quad (2)$$

em que: Y_{ij} é a média do cruzamento entre a i-ésima linhagem do Grupo I e a j-ésima linhagem do Grupo II; μ é a média geral do dialelo; g_i é a capacidade geral de combinação da i-ésima linhagem do Grupo I; g'_j é a capacidade geral de combinação da j-ésima linhagem do Grupo II; s_{ij} é a capacidade específica de combinação entre as linhagens dos Grupos I e II; \bar{e}_{ij} é o erro experimental médio.

As estimativas de capacidade geral de combinação de cada grupo de linhagens e capacidade específica de combinação foram plotadas em um gráfico, onde os eixos corresponderam aos dois ambientes analisados. Posteriormente, foi realizado agrupamento de médias (gerais ao longo dos ambientes) dos 36 cruzamentos pelo procedimento de Scott e Knott (1974). Por fim, para identificar os cruzamentos que menos contribuíram para a interação G x A foi realizada análise de Wricke (1962), que decompõe a soma de quadrados da interação G x A na parte devido a genótipos isolados por meio da estatística denominada ecovalência (ω_i):

$$\omega_i = \sum_{j=1}^a (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}) \quad (3)$$

em que: Y_{ij} é a média do cruzamento i no ambiente j; \bar{Y}_i é a média do cruzamento i; \bar{Y}_j é a média do ambiente j; $\bar{Y}_{..}$ é a média geral.

Todas as análises foram realizadas com o software Genes (Cruz, 2013) e seguiram os procedimentos recomendados por Cruz et al. (2012).

5. RESULTADOS

5.1. Capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero

A análise dialélica conjunta está contida na Tabela 3. O coeficiente de variação experimental (CV) foi inferior a 10% para os caracteres DF e AP e inferior a 30% para a PROD. O efeito de híbridos foi significativo para todos os caracteres avaliados. Para os efeitos de CGC das linhagens restauradoras da fertilidade do Grupo I (CGC I), houve significância apenas para o caráter altura de plantas (AP). Com relação aos efeitos de CGC das linhagens macho-estéreis do Grupo II (CGC II), houve efeito significativo para dias para o florescimento (DF) e AP.

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta referente a uma análise dialélica parcial composta por 36 híbridos de sorgo granífero, provenientes do cruzamento entre seis linhagens polinizadoras (machos – Grupo I) e seis linhagens macho-estéreis (fêmeas – Grupo II) para os caracteres dias para o florescimento (DF), altura de plantas (AP, m) e produtividade de grãos (PROD, t ha⁻¹), avaliados em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

| Fonte de variação | GL | DF | AP | PROD |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Híbridos (H) | 35 | 37,7831* | 0,1225* | 2,3060* |
| CGC I – Linhagens R | 5 | 88,9903 ^{ns} | 0,3032* | 8,1720 ^{ns} |
| CGC II – Linhagens A | 5 | 87,6736* | 0,3184* | 3,6477 ^{ns} |
| CEC | 25 | 17,5636 ^{ns} | 0,0472* | 0,8644 ^{ns} |
| Ambientes (A) | 1 | 6307,0069* | 1,0438* | 19,3453* |
| H x A | 35 | 20,6355* | 0,0162* | 1,1901* |
| CGC I x A | 5 | 19,4569* | 0,0530* | 2,3678* |
| CGC II x A | 5 | 17,3403* | 0,0094 ^{ns} | 2,9838* |
| CEC x A | 25 | 21,5303* | 0,0102 ^{ns} | 0,5959 ^{ns} |
| Resíduo | 70 | 2,4046 | 0,0077 | 0,4230 |
| Média | | 66,92 | 1,44 | 2,38 |
| CV (%) | | 2,31 | 6,07 | 27.26 |

^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Os quadrados médios de CGC foram superiores aos quadrados médios de CEC para todos os caracteres. A interação entre híbridos x ambientes (H x A ou G x A) foi significativa para todos os caracteres avaliados, refletindo em interação CGC I x A significativa para todas as características e CGC II x A para DF e produtividade de grãos (PROD).

A interação significativa entre CGC x A para o caráter DF foi representada na Figura 1. A linhagem M5 apresentou estimativa de CGC negativa nos dois ambientes avaliados. Isto contribuiu para baixas médias dos híbridos (25, 26, 27, 28, 29 e 30) que utilizaram este genitor como macho nos dois locais (Tabela 4). As linhagens F1-A, F3-A e F4-A apresentaram as menores estimativas de CGC nos dois ambientes e também contribuíram para redução na média dos híbridos (1, 3, 4, 7, 9, 10, 13, 15, 16, 19, 21, 22, 25, 27, 28, 31, 33 e 34) para este caráter em ambos os locais.

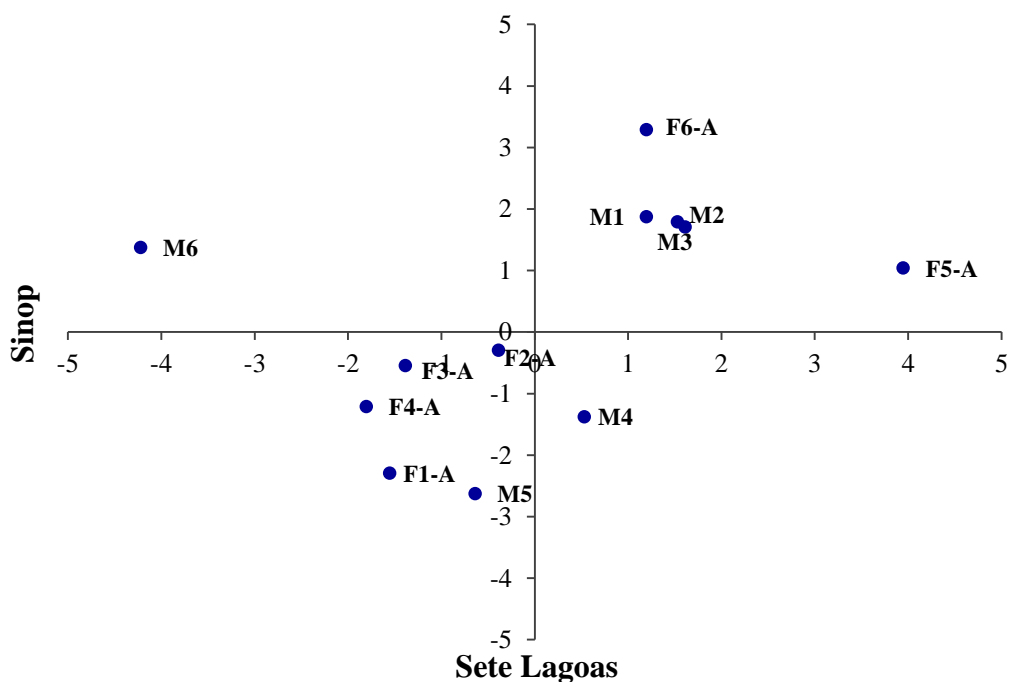


Figura 1. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) para o caráter dias para o florescimento (DF) avaliados em doze linhagens de sorgo granífero cultivadas em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

Tabela 4. Agrupamento de médias para os caracteres dias para o florescimento (DF), altura de plantas (AP, m) e produtividade de grãos (PROD, t ha⁻¹) avaliados em 36 híbridos de sorgo granífero cultivados em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

| Genitores ♂ x ♀ | Híbridos | DF | | AP | | PROD | |
|--------------------|----------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| | | Sinop | Sete Lagoas | Sinop | Sete Lagoas | Sinop | Sete Lagoas |
| M1 x F1-A | 1 | 59,5 c | 73,5 c | 1,50 c | 1,23 b | 2,56 b | 1,71 b |
| M1 x F2-A | 2 | 60,0 c | 75,5 b | 1,49 c | 1,22 b | 2,52 b | 1,40 b |
| M1 x F3-A | 3 | 61,0 c | 73,5 c | 1,77 a | 1,58 a | 3,62 a | 2,67 a |
| M1 x F4-A | 4 | 59,0 c | 73,0 c | 1,45 c | 1,24 b | 2,50 b | 1,56 b |
| M1 x F5-A | 5 | 66,0 a | 74,0 c | 1,61 b | 1,39 a | 1,73 b | 0,90 b |
| M1 x F6-A | 6 | 63,5 b | 83,0 a | 1,37 c | 1,19 b | 2,61 b | 1,08 b |
| M2 x F1-A | 7 | 60,0 c | 70,5 d | 1,43 c | 1,04 c | 2,76 a | 3,02 a |
| M2 x F2-A | 8 | 61,0 c | 75,0 c | 1,47 c | 1,28 b | 3,20 a | 2,46 a |
| M2 x F3-A | 9 | 60,5 c | 77,0 b | 1,45 c | 1,29 b | 2,82 a | 2,32 a |
| M2 x F4-A | 10 | 60,5 c | 73,0 c | 1,57 b | 1,38 a | 4,21 a | 1,93 b |
| M2 x F5-A | 11 | 66,5 a | 74,0 c | 1,05 d | 0,85 d | 1,45 b | 1,04 b |
| M2 x F6-A | 12 | 63,0 b | 82,0 a | 1,10 d | 1,16 b | 1,37 b | 0,92 b |
| M3 x F1-A | 13 | 60,5 c | 70,0 d | 1,70 b | 1,41 a | 2,84 a | 2,74 a |
| M3 x F2-A | 14 | 60,5 c | 71,5 d | 1,89 a | 1,58 a | 3,61 a | 2,19 a |
| M3 x F3-A | 15 | 60,5 c | 74,0 c | 1,90 a | 1,51 a | 4,27 a | 2,86 a |
| M3 x F4-A | 16 | 60,0 c | 77,0 b | 1,90 a | 1,58 a | 3,62 a | 0,75 b |
| M3 x F5-A | 17 | 66,5 a | 80,0 a | 1,61 b | 1,28 b | 1,84 b | 1,03 b |
| M3 x F6-A | 18 | 63,0 b | 79,5 a | 1,51 c | 1,31 b | 3,54 a | 1,23 b |
| M4 x F1-A | 19 | 60,5 c | 71,0 d | 1,53 b | 1,35 a | 3,29 a | 3,09 a |
| M4 x F2-A | 20 | 59,5 c | 73,0 c | 1,68 b | 1,48 a | 4,11 a | 3,30 a |
| M4 x F3-A | 21 | 58,0 c | 73,5 c | 1,63 b | 1,49 a | 3,99 a | 2,46 a |
| M4 x F4-A | 22 | 58,5 c | 69,0 d | 1,70 b | 1,51 a | 5,01 a | 2,97 a |
| M4 x F5-A | 23 | 66,0 a | 64,5 e | 1,48 c | 1,45 a | 3,62 a | 2,85 a |
| M4 x F6-A | 24 | 62,5 b | 82,0 a | 1,31 c | 1,01 c | 3,84 a | 2,01 b |
| M5 x F1-A | 25 | 57,0 d | 72,0 c | 1,60 b | 1,52 a | 1,11 b | 3,14 a |
| M5 x F2-A | 26 | 59,5 c | 72,0 c | 1,43 c | 1,43 a | 1,93 b | 3,56 a |
| M5 x F3-A | 27 | 59,0 c | 70,0 d | 1,57 b | 1,43 a | 1,86 b | 2,24 a |
| M5 x F4-A | 28 | 58,5 c | 72,0 c | 1,65 b | 1,55 a | 3,15 a | 1,86 b |
| M5 x F5-A | 29 | 62,0 b | 77,0 b | 1,44 c | 1,29 b | 3,26 a | 1,39 b |
| M5 x F6-A | 30 | 62,0 b | 62,5 e | 1,24 d | 1,45 a | 2,99 a | 2,00 b |
| M6 x F1-A | 31 | 55,0 d | 70,5 d | 1,55 b | 1,52 a | 1,23 b | 2,88 a |
| M6 x F2-A | 32 | 59,0 c | 72,5 c | 1,41 c | 1,16 b | 2,02 b | 1,62 b |
| M6 x F3-A | 33 | 54,5 d | 70,0 d | 1,53 b | 1,45 a | 1,71 b | 1,57 b |
| M6 x F4-A | 34 | 54,5 d | 70,0 d | 1,57 b | 1,51 a | 1,49 b | 2,21 a |
| M6 x F5-A | 35 | 58,5 c | 78,0 b | 1,22 d | 1,26 b | 1,13 b | 0,86 b |
| M6 x F6-A | 36 | 55,0 d | 72,0 c | 1,39 c | 1,23 b | 2,07 b | 0,70 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.

Apesar de não haver interação significativa entre CGC II x A para o caráter AP, optou-se por fazer um gráfico contendo as estimativas de CGC das linhagens R e A nos dois ambientes avaliados (Figura 2). A linhagem M2 se destaca entre as linhagens restauradoras do Grupo I por apresentar as menores estimativas de CGC em Sinop e Sete Lagoas, contribuindo com alelos favoráveis para redução da AP nestes locais, com exceção do híbrido 10 em Sete Lagoas. Dentre as linhagens macho-estéreis, aquelas que apresentaram as menores estimativas de CGC foram F6-A e F5-A, tanto em Sinop como em Sete Lagoas. Estas linhagens geraram plantas com menor porte em ambos os locais, com exceção dos híbridos 5, 23 e 30, que foram alocados no grupo de maior média em Sete Lagoas.

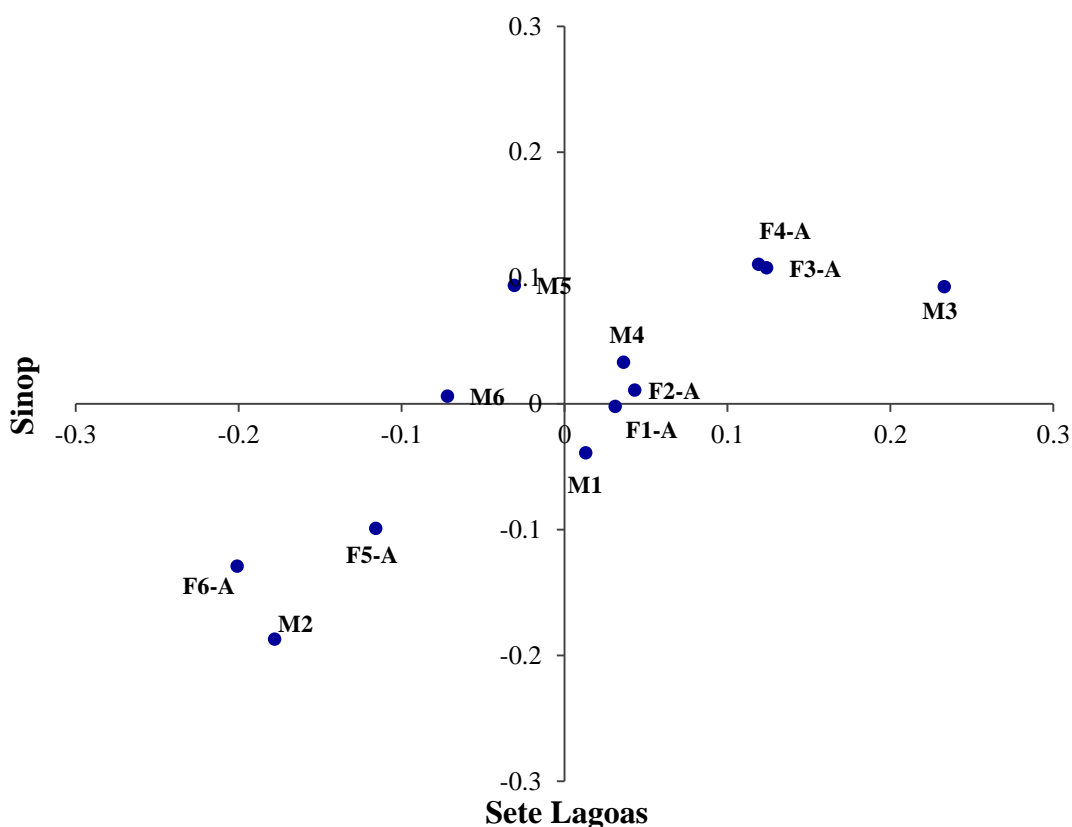


Figura 2. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) para o caráter altura de plantas (AP) avaliado em doze linhagens de sorgo granífero cultivadas em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

A interação significativa entre CGC x A para o caráter PROD foi representada na Figura 3. A linhagem M4 se destaca por apresentar as maiores estimativas de CGC dentre as restauradoras, nos dois ambientes avaliados, contribuindo para incremento na PROD dos híbridos 19, 20, 21, 22, 23 e 24. As linhagens macho-estéreis F2-A e F3-A obtiveram as maiores estimativas de CGC considerando os dois ambientes, onde a maioria dos híbridos (3, 8, 9, 14, 15, 20 e 21) que tiveram estas linhagens como genitor feminino obtiveram médias altas.

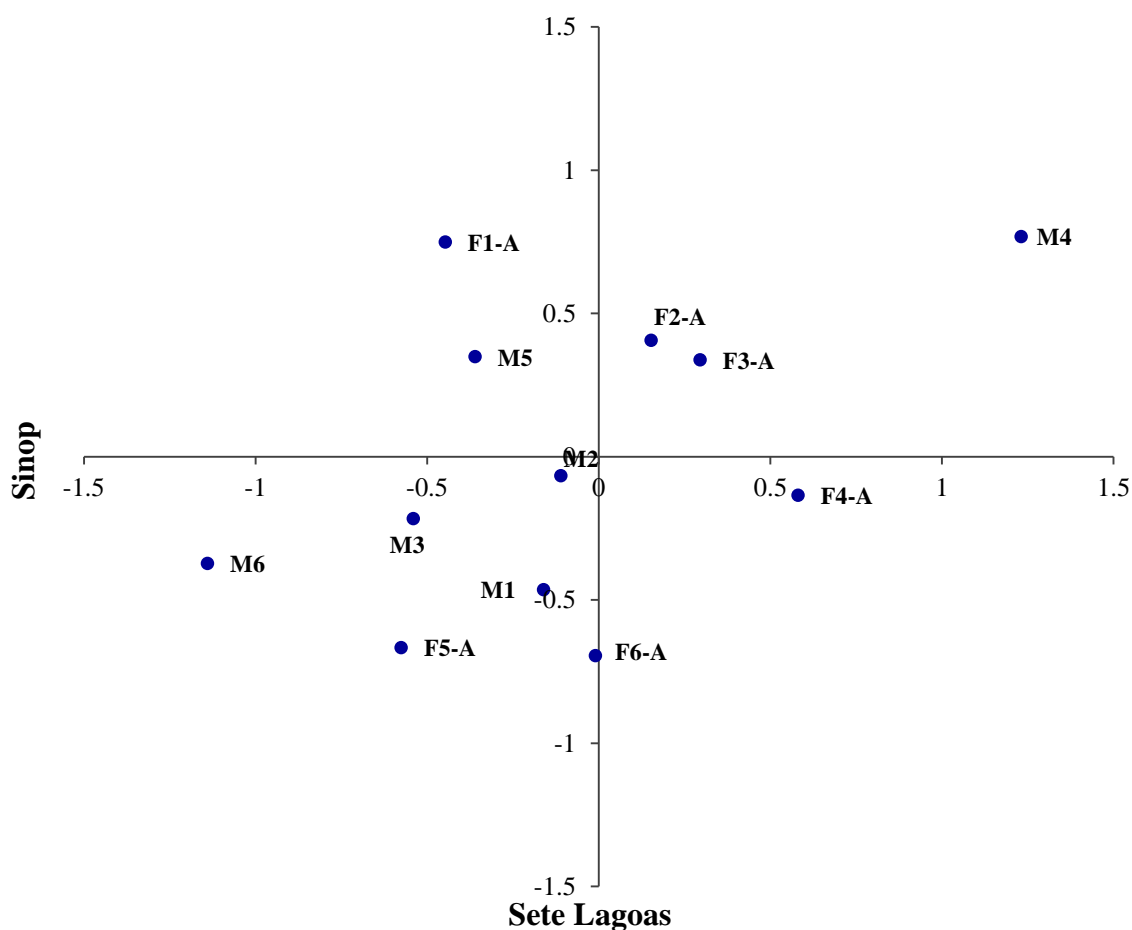


Figura 3. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) para o caráter produtividade de grãos (PROD) avaliado em doze linhagens de sorgo granífero cultivadas em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

5.2. Potencial de híbridos de sorgo granífero

Houve efeito significativo da capacidade específica de combinação (CEC) apenas para a AP. Apesar da presença de interação H x A significativa para todos os caracteres, a interação entre CEC x A foi significativa apenas para DF. As estimativas dos efeitos de CEC para o caráter DF são apresentadas na Figura 4. Os híbridos 4, 7, 14, 22, 33 e 36 apresentaram estimativas negativas e as menores médias (Tabela 4) para este caráter em ambos os locais. Além disto, é interessante destacar os híbridos 2, 20, 21, 25, 29 e 35, que obtiveram baixas estimativas da CEC para Sinop-MT, ambiente representativo para cultivo de sorgo.

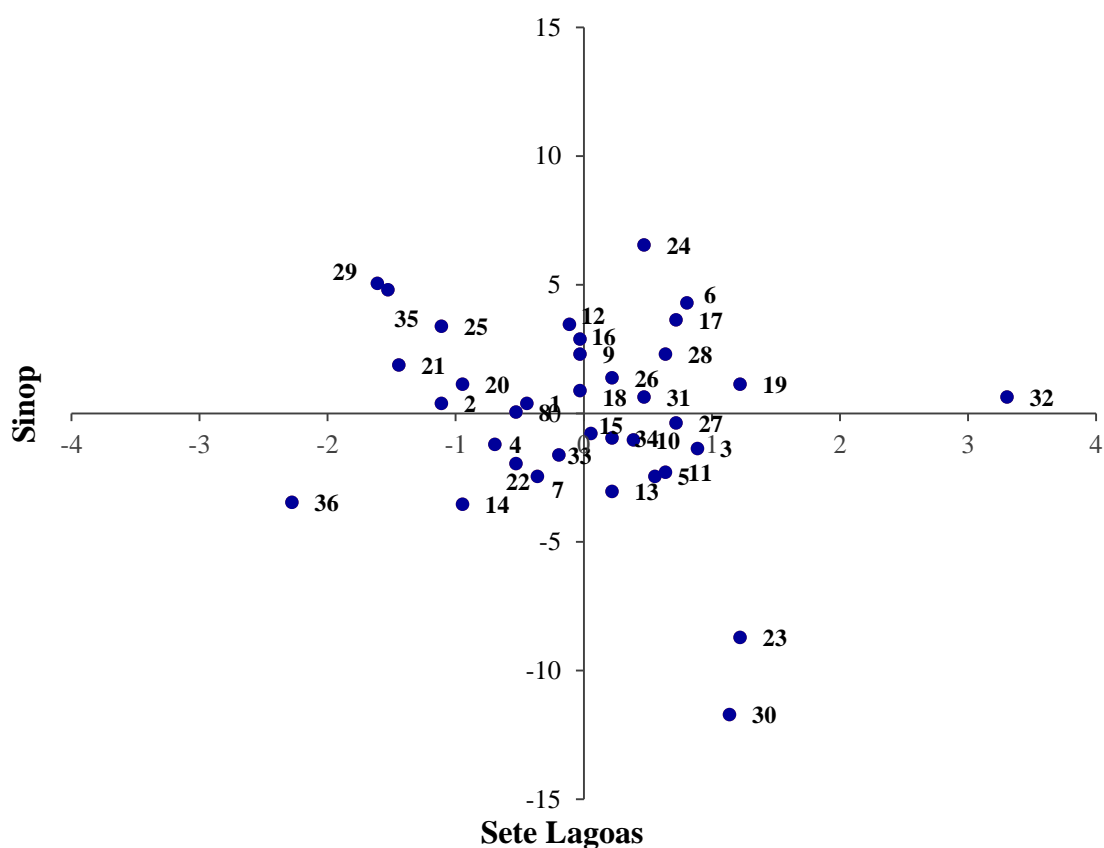


Figura 4. Estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) entre híbridos de sorgo para o caráter dias para o florescimento (DF) avaliado em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

A Figura 5 expressa a média da CEC para o caráter AP, considerando a média dos dois locais, pois a interação CEC x A para este caráter não foi significativa. Os híbridos 1, 2, 4, 7, 11, 17, 18, 19, 21, 24, 26, 27, 32, 33 e 35 obtiveram as menores estimativas considerando os dois locais. Além disto, os híbridos 1, 2, 4, 7, 32, 33 e 35 se destacaram por obter maior precocidade em ambos os locais.

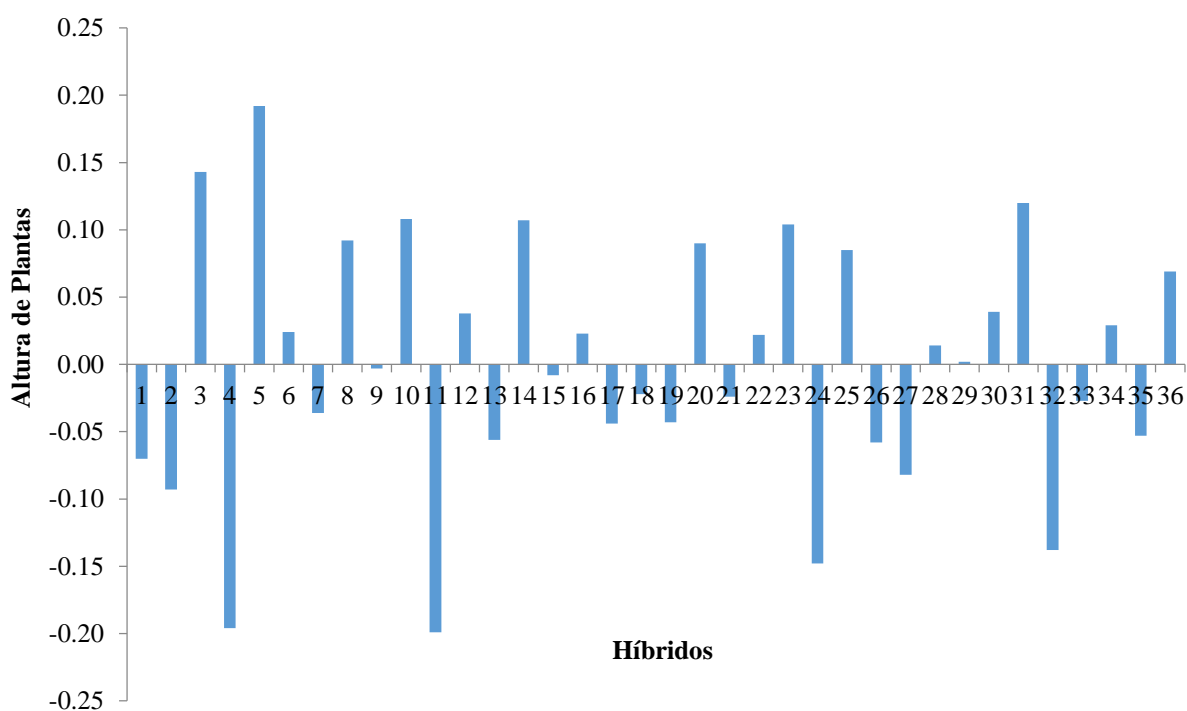


Figura 5. Estimativas médias dos efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) entre híbridos de sorgo para o caráter altura de plantas (AP) avaliado em Sinop-MT e Sete Lagoas-MG.

Os híbridos 1, 3, 7, 9, 19, 20, 21, 22, 28 e 33 apresentaram as menores estimativas de ecovalência (ω_i , %) em todos os ambientes avaliados. Destes, os híbridos 7, 9, 19 e 22 se destacaram por contribuírem com baixa porcentagem da interação G x A para DF (Figura 6A), AP (Figura 6B) e PROD (Figura 6C), além de estarem alocados no grupo com maior PROD, menor AP e menor DF nos dois locais (Tabela 4).

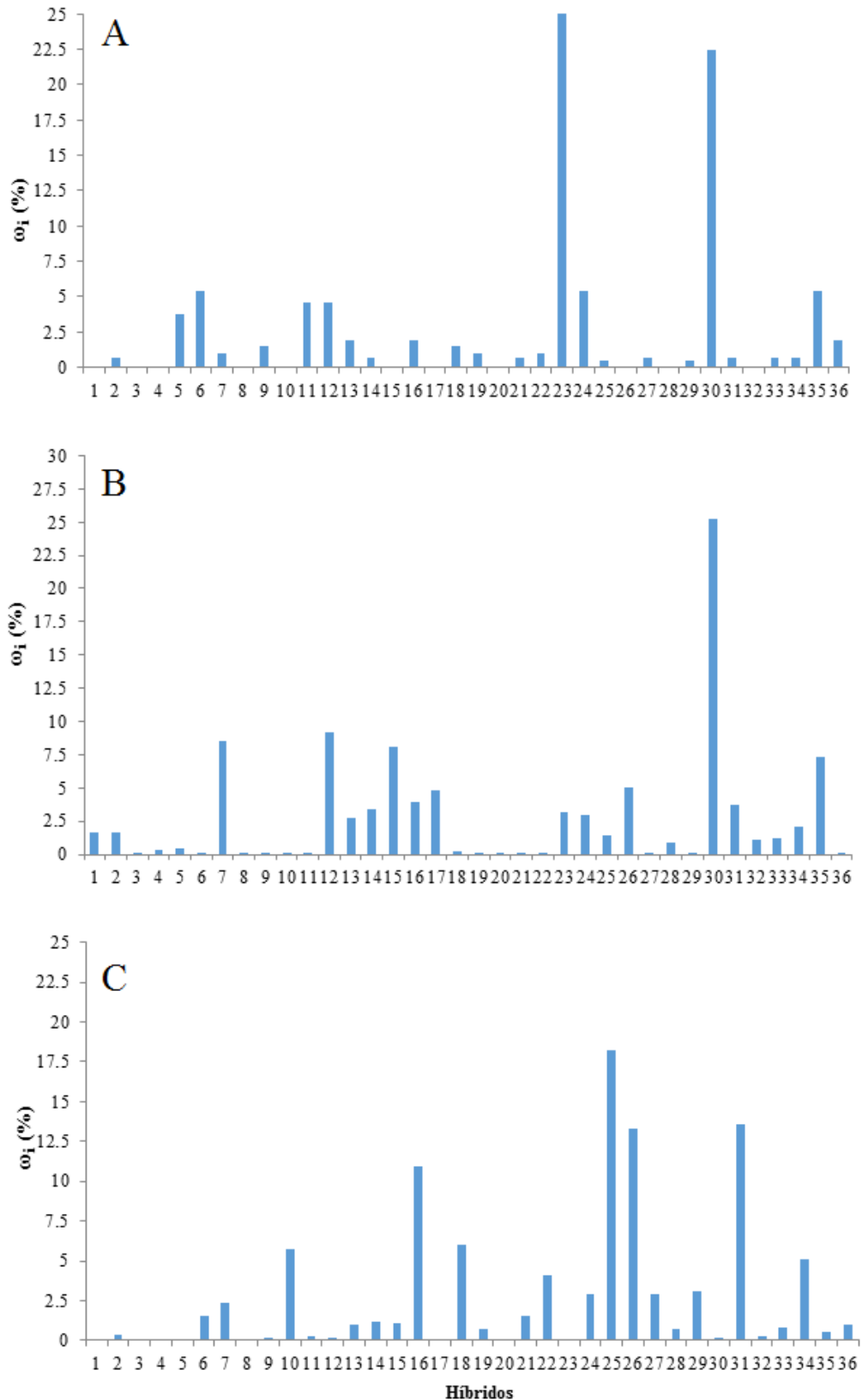


Figura 6. Estabilidade de 36 híbridos de sorgo granífero estimada pelo método de Wricke (1962) para os caracteres dias para o florescimento (A), altura de plantas (B) e produtividade de grãos (C) avaliados em Sinop-MT e Sete Lagoas- MG.

6. DISCUSSÃO

6.1. Impacto da capacidade combinatória no futuro do programa de melhoramento de sorgo granífero

Os caracteres avaliados nesta pesquisa são governados por muitos genes de pequeno efeito sobre o fenótipo e altamente influenciados pelo ambiente. Os valores de CV obtidos revelam boa precisão experimental de acordo com os critérios de Pimentel-Gomes (2009) e são inferiores a outros trabalhos com competição de genótipos de sorgo (Assefa et al., 2010; Kumar et al., 2011; Tardin et al., 2013; Menezes et al., 2014, 2015).

O efeito significativo de híbridos para todos os caracteres evidencia a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados. Nos casos em que a CGC é significativa, pode-se inferir que pelo menos um dos genitores difere dos demais quanto à concentração de alelos favoráveis (Cruz et al., 2012). A significância dos efeitos de CGC I para AP e de CGC II para DF e AP é indicativo da existência de genitores que contribuem com uma maior quantidade de alelos favoráveis para estes caracteres transmitidos aos descendentes (Ramalho et al., 2012).

Por sua vez, efeitos significativos de CEC evidenciam que há desvios de comportamento dos híbridos com relação ao que era esperado com base na CGC dos genitores (Cruz e Vencovsky, 1989). Isto permite inferir que, para os caracteres DF e PROD, cujas estimativas de CEC foram não significativas, as populações híbridas se comportaram como o esperado com base na CGC dos genitores.

A superioridade dos quadrados médios de CGC em relação aos quadrados médios de CEC revela que há predominância de efeitos aditivos no controle destas características. Os efeitos aditivos dos genes são cumulativos ao longo de gerações e são as principais fontes de variação genética explorada pela maioria dos programas de melhoramento (Isik et al., 2003), uma vez que é responsável pela fixação das características de interesse. Menezes et al. (2014,

2015) e Mohammed et al. (2015) também constataram predominância de efeitos aditivos no controle destes caracteres. Contudo, diversos autores relatam que a herança de caracteres agronômicos no sorgo é governada tanto por efeitos aditivos quanto não-aditivos (Premalatha et al., 2006).

A presença de interação G x A significativa pode ser atribuída a fatores previsíveis, como: manejo de solo, pragas e doenças, irrigação suplementar, adubação de base, dentre outros; e imprevisíveis como: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar ao longo do ciclo da cultura, nestes ambientes. Resultados similares foram observados por Silva et al. (2009), Almeida Filho et al. (2010), Cysne e Pitombeira (2012), Tardin et al. (2013), Teodoro et al. (2016) e Batista et al. (2017) ao investigarem a interação G x A no sorgo em locais no Brasil.

Atualmente, os programas de melhoramento de sorgo granífero buscam desenvolver híbridos com alta precocidade, menor porte e alta produtividade de grãos (Menezes et al., 2015). Essas características são desejáveis para consolidar o cultivo em segunda safra desta cultura no Cerrado brasileiro. Desta forma, a presença de interação significativa para CGC x A para alguns caracteres indica que o efeito aditivo dos alelos doados pelos genitores é alterado em função do ambiente.

O melhoramento de sorgo granífero deve ser feito individualmente em cada grupo de linhagens (restauradoras - R ou macho-estéreis - A), sendo o melhoramento das linhagens macho-estéreis feito em suas linhagens isogênicas (linhagens B) e, posteriormente, introduzida a macho-esterilidade genético-citoplasmática. Portanto, a identificação de genitores de cada grupo (R e A) que doem alelos que exerçam efeitos desejáveis nos dois locais é uma estratégia promissora para o desenvolvimento de futuros híbridos com ampla adaptabilidade para estes caracteres.

Neste trabalho, foram identificadas linhagens de cada grupo que contribuem para o fenótipo desejável nos respectivos híbridos gerados. Verificou-se que os alelos favoráveis para

cada caráter estão contidos em diferentes genitores. Não foi identificado nenhum genitor que fosse bom doador de alelos favoráveis para todos os caracteres nos dois ambientes. Uma estratégia a ser adotada para obtenção de híbridos que reúnam simultaneamente precocidade, altura de plantas adequada à colheita e alta produtividade é a piramidação de genes, a qual possibilita a concentração de um conjunto de genes em um único indivíduo.

Com isso, este trabalho trouxe uma proposta para as próximas etapas do programa de melhoramento de sorgo granífero, visando a piramidação de genes favoráveis para todos os caracteres avaliados em linhagens de cada grupo (Figura 9). Para o melhoramento das linhagens R, propõe-se o cruzamento entre as linhagens M2 (boa doadora para redução do porte nos dois locais) e M5 (boa doadora para precocidade nos dois locais). O híbrido resultante deste cruzamento pode ser cruzado com a linhagem M4 (boa doadora para alta produtividade nos dois locais). A partir disto, obter-se-á uma população com alelos favoráveis para todos estes caracteres, na qual deve ser realizada a seleção das linhagens mais promissoras.

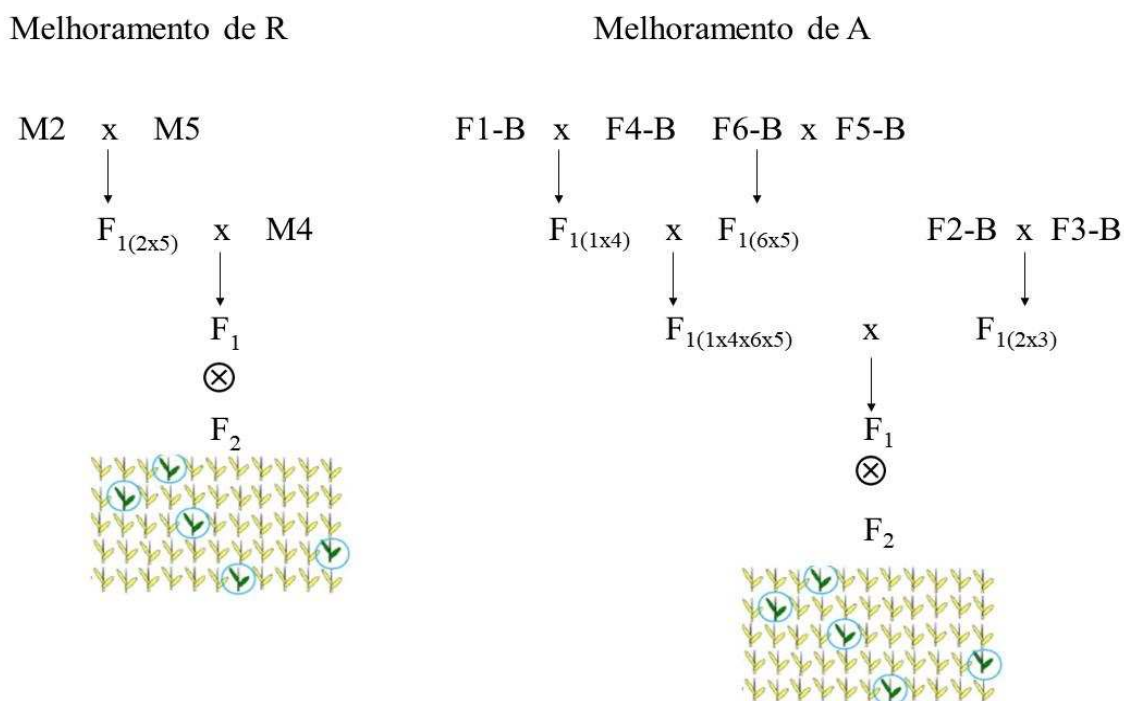


Figura 9. Proposta de melhoramento para obtenção de linhagens restauradoras (R) e machos-estéreis (A – por meio de suas linhagens isogênicas B) que reúnam alta precocidade, menor porte e alta produtividade de grãos para os dois ambientes avaliados.

Devido a presença da macho-esterilidade genético-citoplasmática nas linhagens A, o cruzamento entre linhagens macho-estéreis (A) é inviabilizado. Portanto, o melhoramento das linhagens A deve ocorrer através de suas mantenedoras, linhagens isogênicas B, que apresentam citoplasma fértil. Neste caso, cruzamentos múltiplos devem ser realizados para reunir os alelos favoráveis para todos os caracteres em uma única população. Cruzamentos par a par das linhagens mantenedoras (B), com base nas linhagens A selecionadas, devem ser realizados. Tais cruzamentos podem ser feitos manualmente pela emasculação de uma das linhagens e uso do pólen da outra.

Assim, propõem-se que o híbrido gerado pelo cruzamento entre as linhagens mantenedoras F1-B x F4-B (alta precocidade) deva ser cruzado com o híbrido oriundo das mantenedoras de F6-B x F5-B (redução do porte). Por sua vez, o novo híbrido deve ser cruzado com o híbrido gerado por F2-B x F3-B (alta produtividade). Com isto, haverá a transferência dos genes favoráveis, que estão dispersos entre os genitores, para uma única população, na qual a seleção deverá ser realizada. Por fim, as linhagens B selecionadas nesta população seriam então cruzadas com uma fonte de macho-esterilidade citoplasmática para, em seguida, por meio de retrocruzamento, obter-se novos pares de linhagens A e B.

6.2. Seleção de híbridos de sorgo granífero para o Cerrado brasileiro

O Brasil é um país com uma vasta extensão territorial, sendo o sorgo cultivado em diversos Estados, sobretudo no Cerrado. Nesta região, é comum os agricultores cultivarem o sorgo granífero em segunda safra, após a colheita da soja ou algodão (Goes et al., 2011; Tardin et al., 2013). Dessa forma, a identificação de híbridos que reúnam maior precocidade atenua os efeitos de déficit hídrico presentes na segunda safra. Adicionalmente, híbridos que possuam menor porte minimizam as perdas por acamamento e facilitam a colheita mecanizada (Silva et al., 2009).

Além de possuir alto desempenho produtivo e outras características agronômicas desejáveis, é de interesse que os genótipos mantenham sua superioridade ao longo de uma ampla gama de condições ambientais (Nassar e Hühn, 1987; Becker e Léon, 1988). Apesar da detecção da interação G x A ser de grande importância para o melhoramento, esta não proporciona informações mais detalhadas sobre o comportamento de cada genótipo diante das variações ambientais. Para este fim, devem ser realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade, as quais possibilitam a identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais (Cruz et al., 2012).

Neste trabalho foi detectada interação G x A significativa para todos os caracteres avaliados. Isto revela a necessidade de investigar a estabilidade fenotípica dos híbridos que reúnam as características desejáveis, visando uma recomendação generalizada. Desta forma, foi utilizado o método de Wricke (1962), que é adequado para poucos ambientes, conforme relatado por Cruz et al. (2012). O parâmetro de estabilidade do método de Wricke (1962) é denominado “ecovalidade” (ω_i), que é tido como a contribuição de cada genótipo para a soma de quadrados da interação G x A, e é geralmente expresso em porcentagem. Baixos valores de ω_i revelam maior estabilidade de comportamento (Sharma, 2006).

Os híbridos 1, 3, 7, 9, 19, 20, 21, 22, 28 e 33 apresentaram maior estabilidade em todos os ambientes avaliados. É importante destacar que os híbridos 7, 9, 19 e 22, além de contribuírem com baixa porcentagem da interação G x A para todos os caracteres avaliados, reúnem atributos favoráveis, ou seja, maior PROD, menor AP e menor DF, nos dois locais. Esses resultados demonstram sua potencialidade para cultivo em outros locais do Cerrado brasileiro. Contudo, sua avaliação em outros locais com características edafoclimáticas distintas das aqui testadas é aconselhável para uma recomendação mais confiável.

7. CONCLUSÕES

Cruzamentos múltiplos devem ser realizados visando reunir os alelos favoráveis para os caracteres avaliados em novas linhagens macho-estéreis e restauradoras de fertilidade.

Os híbridos 7, 9, 19 e 22 são os mais indicados para cultivo nos ambientes avaliados, pois possuem alta precocidade, porte adequado à colheita e alta produtividade de grãos, além de alta estabilidade fenotípica para estes caracteres.

8. BIBLIOGRAFIA

- Almeida Filho JE, Tardin FD, Souza SA, Godinho VPC, Cardoso MJ (2010). Desempenho agronômico e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 9: 51-64.
- Assefa Y, Staggenborg SA, Prasad, VPV (2010). Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. *Crop Management*, 9.
- Batista, P.S.C., C.B. Menezes, A.J. Carvalho, A.F. Portugal, E.A. Bastos, M.J. Cardoso, C.V. Santos, and M.P.M. Julio. 2017. Performance of grain sorghum hybrids under drought stress using GGE biplot analyses. *Genetics and Molecular Research* 16(3): gmr16039761.
- Becker HC, Léon J (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1-23.
- Boyles RE, Pfeifferc BK, Coopera EA, Zielinski KJ, Myersa MT, Rooneyc WL and Kresovich S (2017). Quantitative Trait Loci Mapping of Agronomic and Yield Traits in Two Grain Sorghum Biparental Families. *Crop Science* 57: 2443-2456.
- CONAB (2017). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de Safra Brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, Setembro/2017. Disponível em: [<http://www.conab.gov.br>]. Acesso em: 22 de setembro de 2017.
- Cruz CD (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy* 35: 271-276.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro AJ, Souza PC (2012). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Editora UFV, Viçosa.
- Cruz CD, Vencovsky R (1989). Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *Revista Brasileira de Genética*, 12: 425-438.
- Cysne JRB, Pitombeira JB (2012). Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo granífero em diferentes ambientes do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica* 43: 273-278.

Falconer DS, Mackay TFC (1996). Introduction to Quantitative Genetics. Longman, Essex, England.

Geraldi IO, Miranda Filho JB (1988). Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. *Revista Brasileira de Genética* 11: 419-430.

Goes RJ, Rodrigues FAR, Arf O, Arruda OG, Vilela RG (2011). Fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no sorgo granífero na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 10: 121-129.

Goyal SN, Kumar S (1991). Combining ability for yield component and oil content in sesame. *Indian J. Genet. Plant Breed.* 51, 311–314.

Griffing BA (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal Biology Science* 9: 463-493.

House LR (1985). A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh.

Isik F, Li B, Frampton J (2003). Estimates of Additive, Dominance and Epistatic Genetic Variances from a Clonally Replicated Test of Loblolly Pine. *Forest Science* 49(1): 77-88.

Kenga R, Alabi SO, Gupta SC (2004). Combining ability studies in tropical sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Field Crop Research* 88: 251–260.

Kumar AA, Reddy BVS, Sharma HC, Hash CT, Rao PS, Ramaiah B, Reddy OS (2011). Recent advances in sorghum genetic enhancement research at ICRISAT. *American Journal of Plant Sciences* 2: 589-600.

Magalhães PC, Durães FOM, Rodrigues JAS (2008). Cultivo do sorgo: ecofisiologia. In: Rodrigues JAS (Ed.). *Cultivo do sorgo*. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.

Maunder AB, Pickett RC (1959). The Genetic Inheritance of Cytoplasmic-Genetic Male Sterility in Grain Sorghum. *Agronomy Journal* 51: 47-49.

Menezes CB, Carvalho Junior GA, Silva LA, Bernardino KA, Souza VF, Tardin FD, Schaffert RE (2014). Combining ability of grain sorghum lines selected for aluminum tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 14: 42-48.

Menezes CB, Santos CV, Júlio MPM, Silva KJ, Saldanha DC, Tuma e Silva CH, Tardin FD, Rodrigues JAS (2015). Capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero cultivados em segunda safra. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 127, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.

Mohammed R, Are AK, Bhavanasi R, Munghati RS, Kavi Kishor PB, Sharma HC (2015). Quantitative genetic analysis of agronomic and morphological traits in sorghum, *Sorghum bicolor*. *Frontiers in Plant Science* 6: PMC4630571.

Murty DS, Tabo R, Ajayi O (1994). Sorghum hibrid seed production and management. ICRISAT, Andhea Proeoh.

Mutisya J, Sun C, Rosenquist S, Baguma Y, Jansson C (2009) Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart 166: 428-434.

Nassar R, Hühn M (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* 43: 45-53.

Parrella RA, Schaffert RE, May A, Emygdio B, Portugal AF, Damasceno CMB (2011). Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.

Paterson AH, Bowers JE, Bruggmann R (2009). The *Sorghum bicolor* genome and the diversification of grasses. *Nature* 457: 551-556.

Pimentel-Gomes F (2009). Curso de estatística experimental. 15th ed. FEALQ, Piracicaba.

Premalatha N, Kumaravadivel N, Veerabadhiran P (2006). Heterosis and combining ability for grain yield and its components in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 66: 123-126.

Quinby JR (1974) Sorghum improvement and the genetics of growth. College Station, Texas A&M University Press, Texas.

Ramalho MAP, Ferreira DF, Oliveira AC (2012). Experimentação em genética e melhoramento de plantas. UFLA, Lavras.

- Reddy BVS, Ramesh SR (2005). Sweet sorghum a potencial alternative raw material for bio-ethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 1: 1-8.
- Reddy BVS, Kumar AA, Ramesh SR, Reddy PS (2011). Breeding sorghum for coping with climate change. In: Yadav SS, Redden R, Hatfield JL, Lotze-Campen H. (Eds). *Crop Adaptation to Climate Change*. John Wiley & Sons Inc., Iowa.
- Reddy BVS, Ramesh SR, Reddy PS, Kumar AA (2009). Genetic enhancement for drought tolerance in sorghum. *Plant Breeding Reviews* 31: 189-222.
- Ribas PM (2007). *Cultivo de sorgo: Importância econômica. Sistemas e Produção*, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.
- Rodrigues JAS, Magalhães PC, Souza TC (2012). Ecofisiologia do sorgo. In: Rodrigues JAS (Ed.). *Cultivo do sorgo*. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.
- Scapim CA, Rodrigues JAS, Cruz CD, Gomes JA, Lucca e Braccini A (1998). Efeitos gênicos, heterose e depressão endogâmica em caracteres de sorgo granífero. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33: 1847-1857.
- Schlegel AJ, Lamm FR, Assefa Y, Stone LR (2018). Dryland Corn and Grain Sorghum Yield Response to Available Soil Water at Planting. *Agronomy Journal* 110: 236-245.
- Schnablea PS, Roger PW (1998). The molecular basis of cytoplasmic male sterility and fertility restoration. *Trends in Plant Science* 3: 175-180.
- Scott AJ, Knott M (1974). A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30: 507-512.
- Senthil N, Ramasamy P, Khan AKF (1998). Fertility restoration and heterosis involving different cytoplasms in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] hybrids. *Journal of Genetics and Breeding* 5: 339-342.
- Sharma JR (2006). *Statistical and biometrical techniques in plant breeding*. New Age International, New Delhi.

Silva AG, Barros AS, Silva LHSCP, Morães EB, Pires R (2009). Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 39: 168-174.

Smith CW, Frederiksen RA (2005). *Sorghum: origin, history, technology, and production*. Wiley Series in Crop Science, Series Editor Texas A & M University.

Tardin FD, Almeida Filho JE, Oliveira CM, Leite CEP, Menezes CB, Magalhães PC, Rodrigues JAS, Schaffert RE (2013). Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 12: 102-117.

Teodoro PE, Almeida Filho JE, Daher RF, Menezes CB, Cardoso MJ, Godinho VP, Torres FE, Tardin FD (2016). Identification of sorghum hybrids with high phenotypic stability using GGE biplot methodology. *Genetics and Molecular Research* 15(2): gmr.15027914.

USDA (2017). *World Agricultural Production*. United States Department of Agriculture, Washington. Disponível em: [<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>]. Acesso em: 03 de outubro de 2017.

Von Pinho RG, Vasconcelos RC, Borges ID, Resende AV (2007). Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. *Bragantia* 66: 235-245.

Wricke G (1962). Über eine method zur erfassung der ökologischen streubreit in feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzucht* 47: 96.