

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO “Carlos Alberto Reyes
Maldonado”**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE
PLANTAS**

JÉSSICA DOS SANTOS

**Interação genótipos por ambientes e desempenho agronômico de
híbridos de sorgo granífero em Sinop-MT**

SINOP
MATO GROSSO, BRASIL
ABRIL – 2025

JÉSSICA DOS SANTOS

**Interação genótipos por ambientes e desempenho agrônômico de
híbridos de sorgo granífero em Sinop-MT**

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO
ESTADO DE MATO GROSSO “Carlos Alberto
Reyes Maldonado”, como parte das exigências
do Programa de Pós-graduação em Genética e
Melhoramento de Plantas, para obtenção do
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin

SINOP
MATO GROSSO, BRASIL
ABRIL – 2025

Ficha catalográfica

Ficha catalográfica elaborada pela Supervisão de Bibliotecas da UNEMAT Catalogação
de Publicação na Fonte. UNEMAT - Unidade padrão

S237i Santos, Jéssica Dos.

Interação genótipos por ambientes e desempenho agrônômico de
híbridos de sorgo granífero em Sinop-MT / Jéssica Dos Santos. -
Cáceres, 2025.
45f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes
Maldonado", Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Genética e
Melhoramento de Plantas - Multicampus, Programa De Pós-graduação
Stricto Sensu Em Genética E Melhoramento De Plantas - Multicampus.

Orientador: Flávio Dessaune Tardin.

JÉSSICA DOS SANTOS

**Interação genótipos por ambientes e desempenho agrônômico
de híbridos de sorgo granífero em Sinop-MT**

Dissertação apresentada à
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO
GROSSO “Carlos Alberto Reyes
Maldonado”, como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Genética
e Melhoramento de Plantas, para obtenção
do título de Mestre.

Aprovado em: 30 de abril de 2025.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin
Orientador - EMBRAPA – UNEMAT

Profa. Dr^a. Isabela Volpi Furtini
EMBRAPA

Prof. Dr. José Ângelo Nogueira de Menezes Júnior
EMBRAPA – UNEMAT

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares, por incentivarem a seguir meus objetivos
e possibilitarem este sonho.

AGRADECIMENTOS

A Deus e meu anjo da guarda pelo sustento nessa caminhada e por mostrar o quanto sou capaz.

À Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado” e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realizar este mestrado.

À CAPES e CNPq (Conselho Nacional de Pesquisas), pela concessão de Bolsa de estudo.

À Embrapa Agrossilvipastoril e à Embrapa Milho e Sorgo, pela oportunidade de realização deste experimento.

Ao meu orientador Dr. Flávio Dessaune Tardin, pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos, por acreditar em meu potencial e pela sabedoria repassada. À minha supervisora Dra. Vanessa Quitete Ribeiro da Silva pelo apoio, ensinamentos e oportunidades.

Aos meus pais, Salete Maria Zanchetta e Giovane Fresque dos Santos por todo o apoio e compreensão. Ao meu marido Guilherme Potochoski e meu filho Arthur dos Santos Potochoski pela força e incentivo. A meus sogros Eliane de Souza Lima e Waldemar Stival pelo incentivo.

Aos amigos que fiz no mestrado, pela união e dias e noites de estudos.

A todos que colaboraram diretamente ou indiretamente na implantação do experimento e coleta de dados, colaboradores da Embrapa, bolsistas e voluntários, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Jéssica dos Santos, nascida no dia 12 de junho de 1991, na cidade de Água Doce, Santa Catarina. Filha de Salete Maria Zanchetta e Giovane Fresque dos Santos. Mudou-se para o Mato Grosso em 1992, onde concluiu o ensino médio na Escola Estadual Ivaldino Francio, na cidade de União do Sul, Mato Grosso, em 2007. Graduiu-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop em 2022. Durante a graduação foi monitora das matérias de microbiologia geral e bromatologia, auxiliando os colegas de curso em aulas e laboratório. Foi bolsista PIBIC pela Embrapa em 2021, auxiliando em experimentos de milho e sorgo. Em 2023 ingressou no mestrado da Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”, junto ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, buscando obter o título de Mestre no ano de 2025.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	11
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.Características e importância do sorgo.....	13
2.2.Sorgo Granífero	15
2.3.Melhoramento genético de sorgo granífero	17
2.4.Interação Genótipo x Ambiente	20
3.MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1.Local e condução do experimento	22
3.2.Genótipos e características avaliadas	24
3.3.Análises estatísticas.....	26
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5.CONCLUSÃO.....	23
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

RESUMO

SANTOS, JÉSSICA DOS; M. Sc.; Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”; abril de 2025; **Interação genótipos por ambientes e desempenho agrônômico de híbridos de sorgo granífero em Sinop-MT**. Orientador: Flávio Dessaune Tardin.

O sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é cultivado principalmente em segunda safra por suportar o estresse hídrico que comumente ocorre nessa época. Seu grão no Brasil é prioritariamente utilizado na alimentação animal, como componente de rações e para produção de silagem de grãos úmidos, podendo ser utilizado para alimentação humana e para produção de etanol. Após a colheita, a biomassa remanescente pode ser pastejada, utilizada como feno ou servir de cobertura (palhada) para proteção do solo. Além de seus diversos usos, o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) do sorgo demonstra a possibilidade de plantio após a janela recomendada para o milho em grande parte das regiões brasileiras, sendo alternativa mais segura para o cultivo em semeaduras tardias de segunda safra. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de genótipos de sorgo granífero em dois anos de cultivo. Buscou-se identificar genótipos com alta produtividade e adaptados às condições da segunda-safra em Sinop-MT, sendo avaliados 23 genótipos de sorgo granífero. O delineamento experimental ocorreu por blocos ao acaso com três repetições e parcelas úteis, compostas por duas fileiras de 5 m de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,7 m e as duas linhas centrais consideradas como área útil. As características avaliadas foram altura de planta, estande, umidade e peso de grãos. Foi realizada a análise de variância conjunta para os dois ambientes e as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Realizou-se a decomposição da interação em simples e complexa, de acordo com a metodologia de Cruz e Castoldi (1991). A análise de variância confirmou interação GxA significativa para todas as características avaliadas, demonstrando respostas diferenciadas dos genótipos em função das mudanças no ambiente de cultivo. A interação GxA foi simples para altura de plantas e complexa para as demais características. Os genótipos CMSXS3011, CMSXS3015, CMSXS3019, CMSXS3023, CMSXS3029 e a testemunha comercial AG1085, demonstraram superioridade quanto a produção de grãos. Estes híbridos demonstraram potencial para lançamento, porém necessitando de mais avaliações em outros anos e locais.

Palavras-chave: Sorgo Granífero. Produtividade. Safra.

ABSTRACT

SANTOS, JÉSSICA DOS; M. Sc.; Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado”; abril de 2025; **Interação genótipos por ambientes e desempenho agrônômico de híbridos de sorgo granífero em Sinop-MT**. Orientador: Flávio Dessaune Tardin.

Grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is grown mainly in the second season because it can withstand the water stress that commonly occurs at this time. In Brazil, its grain is primarily used in animal feed as a component of feed and to produce wet grain silage and can be used for human consumption and to produce ethanol. After harvesting, the remaining biomass can be grazed, used as hay or used as cover (straw) to protect the soil. In addition to its various uses, the agricultural zoning of climate risk (ZARC) of sorghum demonstrates the possibility of planting after the recommended window for corn in most Brazilian regions, being a safer alternative for cultivation in late sowings in the second harvest. The objective of this work was to evaluate the performance of grain sorghum genotypes and two years of cultivation, in an attempt to identify genotypes with high productivity and adapt to the conditions of the second harvest in Sinop-MT. Twenty-three grain sorghum genotypes were evaluated for two second harvests. The experimental design of each experiment was randomized blocks with three replications and useful plots composed of two 5 m long rows. The spacing between rows was 0.7 m and the two central rows were considered as useful area. The characteristics evaluated were plant height, stand, moisture and grain weight. Joint analysis of variance was performed for both environments, and the genotype means were grouped using the Scott-Knott test ($P < 0.05$). The interaction was also decomposed into simple and complex according to the methodology to Cruz and Castoldi (1991). Analysis of variance confirmed significant GxE interaction for all evaluated characteristics, demonstrating differentiated responses of genotypes depending on changes in the cultivation environment. The GxE interaction was simple for plant height and complex for the other traits. The genotypes CMSXS3011, CMSXS3015, CMSXS3019, CMSXS3023, CMSXS3029 and the commercial control AG1085 demonstrated superiority in grain production. These hybrids demonstrated potential for release but require further evaluations in other years and locations.

Keywords: Grain sorghum. Productivity. Harvest.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é uma cultura de alto interesse para cultivo por sua resiliência a atipicidades climáticas, adaptando-se a diversos ambientes, inclusive aqueles considerados inapropriados para cultivos de outros cereais, dentre estes, o milho. Sua versatilidade de uso, com potencial para produção de grãos para alimentação animal, biocombustíveis e até mesmo consumo humano, o consolidam como uma alternativa estratégica para diversas regiões do país (Albuquerque, 2021). No ano agrícola 2023/2024, a produção brasileira atingiu 4,4 milhões de toneladas de grãos, ocupando uma área de 1,5 milhões de hectares (CONAB, 2024).

Dentre os tipos de sorgo, destaca-se o sorgo granífero que apresenta porte baixo em relação aos outros tipos de sorgo, podendo chegar a no máximo 1,70 m, para facilitar a colheita mecanizada, possui panículas bem desenvolvidas com ampla presença de grãos (Guimaraes et al., 2020). Os cultivares disponíveis no mercado possuem ciclo variando de 90 a 120 dias e são insensíveis ao fotoperiodismo (Parrella et al., 2014). Essa insensibilidade possibilita altas produções, mesmo em segunda safra, em razão de seu florescimento precoce (Rodrigues et al., 2021).

O cultivo do sorgo no Brasil ocorre majoritariamente em segunda safra tendo os estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Mato Grosso e Bahia liderando a produção nacional do grão (CONAB, 2024). De acordo com dados do IBGE (2024), o estado de Mato Grosso apresentou aumento na produtividade de sorgo quando comparadas às safras de 2023 e 2024, em que produziu 250,50 e 394,1 mil toneladas, respectivamente, subindo no ranking de terceiro para o segundo maior produtor da região centro-oeste.

Em Mato Grosso, o sorgo granífero tem apresentado expansão na segunda safra, aproveitando a janela de cultivo após a colheita da soja e contribuindo para a intensificação sustentável dos sistemas produtivos (Menezes, 2018).

A busca por cultivares de sorgo granífero com elevado potencial produtivo é o desafio dos programas de melhoramento genético e como consequência tem

crescido em investimentos de pesquisa e tecnologia com o objetivo de aumentar a competitividade no mercado nacional e internacional. (Menezes et al., 2021).

A ocorrência da interação genótipos por ambientes (GxA) é um fenômeno bem relatado em diversas culturas, incluindo o sorgo, interação que demonstra como os materiais genéticos se comportam diante da variação de ambiente (González-Barrios et al., 2019). Compreender a natureza e a magnitude da interação GxA é crucial para o sucesso dos programas de melhoramento, para que haja confiabilidade na recomendação dos materiais genéticos para tal localidade ou ambiente (Rosado, 2012).

Diante da crescente importância do sorgo granífero na segunda safra em Mato Grosso e da complexidade da interação GxA, este trabalho objetivou avaliar a interação genótipos $\times$ ambientes e o desempenho agrônômico de híbridos de sorgo granífero em dois anos de cultivo de segunda safra em Sinop-MT, visando selecionar aqueles que apresentem alta produtividade e estabilidade às condições locais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características e importância do sorgo

Quinto cereal mais cultivado no mundo, o sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench é um cereal originário da África Oriental, na região de Etiópia e Sudão, há cerca de 5.000 anos. Sua domesticação antecede os cultivos do trigo, arroz e milho (Winchell et al., 2018; Smith et al. 2019 *apud* Nascimento, 2021). Sua inserção no continente americano ocorreu no final do século XIX, através do transporte de suas sementes pelos escravizados levados em navios negreiros (Smith et al., 2019).

Os Estados Unidos foram o primeiro país a desenvolver as primeiras cultivares passíveis à colheita mecanizada, isso só foi possível por meio de métodos de melhoramento genético e, do mesmo modo, essas cultivares foram disseminadas por diversos países como Argentina, Austrália, México, China, Colômbia, Venezuela, Nigéria, Sudão e Etiópia (Lira, 1981; Ribas, 2003; Smith et al., 2019). No Brasil, o desenvolvimento da cultura se iniciou com os programas de melhoramento de sorgo em 1970, que permitiu a expansão da cultura no país (Purcino, 2011).

De acordo com Clayton e Renvoize (1986), o sorgo pertence à família Poaceae, tribo Andropogoneae, subtribo Sorghinae e gênero *Sorghum*. O gênero *Sorghum* é composto por 25 espécies, as quais se dividem em cinco subgêneros distintos: *Eusorghum*, *Chaetosorghum*, *Heterosorghum*, *Parasorghum* e *Stiposorghum*. Dentre esses, o subgênero *Eusorghum* apresenta particular relevância por englobar tanto espécies silvestres, como o *Sorghum bicolor* spp. *arundinaceum* e o *Sorghum halepense*, quanto espécies cultivadas, representadas pelo *Sorghum bicolor* spp. *bicolor* (Albuquerque et al., 2021).

O sorgo apresenta um cariótipo diploide constituído por 20 cromossomos ($2n = 2x = 20$), conforme descrito por Santos et al. (2005). É uma gramínea predominantemente autógama, com taxa de fecundação cruzada baixa variando de 5 a 10% (Doggett, 1970; Coors et al., 1999; Borém et al., 2014). Tem alta taxa de autofecundação por possuir flores monoicas, com androceu e gineceu próximos (Smith e Frederiksen, 2000). Seu metabolismo fotossintético é do tipo C4 (Carrillo et al., 2014; Saballos, 2009), tolerante a altos níveis de radiação

solar por controlar a abertura de estômatos diminuindo a perda de água (Landau e Sans, 2012). Para um bom desenvolvimento e crescimento o sorgo necessita de temperaturas acima de 21 °C, sendo sua temperatura ótima de 33°C (Paul, 1990; Menezes et al., 2015).

O caule do sorgo é classificado como colmo, apresenta uma estrutura nodal variável, com um número de nós que oscila entre 7 e 24, dependendo da combinação genética de cada cultivar. A distância entre esses nós, os entrenós, é influenciada tanto por fatores genéticos quanto por fatores ambientais (Magalhães et al., 2014). A inflorescência do sorgo é do tipo panícula, possui uma organização ramificada, com um eixo principal (ráquis) do qual se originam ramos secundários. Nestes ramos, as flores são agrupadas em espiguetas, sempre em pares: uma séssil e outra pedicelada. A transição da fase vegetativa para a reprodutiva no sorgo é caracterizada pela diferenciação floral que ocorre no meristema apical da planta (Magalhães et al., 2021).

O sistema radicular é fasciculado e com grande quantidade de capilares, pode atingir a profundidade superior a 1,5 m, sendo a maior parte distribuída na camada de 0 a 30 cm do solo e extensão lateral de até 2,0 m (Rodrigues et al., 2021). Desse modo, a informação confere à cultura maior tolerância ao déficit de água e o excesso de umidade no solo quando comparado com outros cereais (Doggett, 1970; Sharma et al., 2005; Bibi et al., 2010).

Devido à profundidade das raízes, há incorporação de matéria orgânica no solo, possibilitando o sequestro de carbono atmosférico. O sorgo possui inclusive potencial de redução da volatilização como perdas gasosas de nitrogênio amoniacal, palhada com alta relação C/N (carbono/nitrogênio) o que aumenta o tempo de cobertura de solo pela degradação mais lenta do material, aumento da infiltração de água no solo e controlando a erosão (Filho e Rodrigues., 2015).

Em situações de estresse por escassez hídrica, o sorgo traz menor risco de perda por ser capaz de paralisar o seu crescimento, podendo suportar períodos de seca de até 20 dias, sem comprometer a produção (Torres, 2022). É amplamente utilizado em regiões áridas onde os níveis pluviométricos são menores (Tabosa et al., 2002; Monteiro et al., 2004; Ávila, 2018). No Brasil, seu cultivo ocorre principalmente em segunda-safra, após o cultivo da safra principal,

de soja ou milho, período em que a restrição hídrica inviabiliza o cultivo dessas outras culturas (Rodrigues et al., 2021).

Dentre suas características, o sorgo se destaca pela menor necessidade hídrica, tolerância ao alumínio, baixo custo de produção, adaptação ao cultivo mecanizado, redução de nematoides no solo que acometem a soja (comparativamente com o milho) e proporciona palhada de qualidade para proteção do solo. Ainda como alimento para os animais é utilizado para produção de rações de alta qualidade proteica e isentas de toxinas (Guimaraes et al., 2020).

Pode ser utilizado de diversas formas, desde alimentação animal, cobertura de solo, bioenergia até a alimentação humana. Ele é classificado de acordo com sua utilização. Agronomicamente, pode ser do tipo granífero, de porte baixo destinado a produção de grãos; tipo forrageiro/silageiro, de porte alto, utilizado para produção de silagem; sacarino, com colmo úmido, adaptado para a produção de etanol e açúcar; biomassa, de porte alto, colmo fibroso e com panículas com baixo rendimento de grãos; vassoura, onde suas panículas são destinadas a produção de vassouras, além de um sexto grupo, denominado de sorgo para corte e pastejo, resultado de cruzamento entre *Sorghum sudanense* e *Sorghum bicolor*, utilizado na alimentação animal em forma de pasto ou capineira (Bennett et al., 1990; Borém et al., 2014 *apud* Rodrigues, 2021; Doggett, 1988).

2.2. Sorgo Granífero

O sorgo (*S. bicolor* (L.) Moench) nome proposto para o sorgo cultivado, dividido em três subespécies, das quais a *bicolor* é onde estão presentes os sorgos graníferos. Essa subespécie ainda pode ser dividida em cinco raças básicas (*bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir* e *durra*) e 15 raças híbridas, que são diferenciadas através das formas dos grãos, das glumas e panículas (Clayton, 1961; House, 1985).

A inflorescência do sorgo é denominada panícula, que possui uma estrutura central, a ráquis, que possui ramificações primárias e secundárias (Schaffert e Rodrigues, 2014). Os genótipos de sorgo granífero atualmente cultivados, são insensíveis ao fotoperiodismo, sendo os mais indicados a serem

plantados em segunda safra por não perderem produtividade quando a duração do dia varia (Magalhães et al., 2021). Os grãos apresentam tamanho considerável e coloração variada (Borém et al., 2014).

O grão do sorgo é formado por pericarpo, endosperma e gérmen, alguns possuem a testa pigmentada onde estão presentes os taninos (Martino et al., 2014). O grão atinge sua maturidade fisiológica quando surge uma mancha escura em sua base, nesse ponto o teor de umidade atinge 25 a 35% (Venkasteuvaran et al., 2019).

A utilização do sorgo varia entre os continentes, enquanto na África e Ásia o sorgo é primariamente utilizado como alimento humano, chegando a até 70% da ingestão calórica, nos países ocidentais, a produção de sorgo é direcionada principalmente para a alimentação animal (Pereira Filho e Rodrigues, 2015). O principal uso do sorgo granífero no Brasil é para alimentação animal, substituindo parcial ou totalmente o milho. Se destaca como uma alternativa promissora para a segunda safra, sendo viável especialmente em situações de "janela para cultivo do milho" reduzida. O custo de produção inferior ao do milho e preço de mercado pode chegar a 85-90% do valor do milho (Miranda et al., 2015; CEPEA, 2024).

Dentre os tipos de sorgo, o granífero é o que possibilita o cultivo mais adensado, com populações variando entre 160.000 e 240.000 plantas por hectare e espaçamento entre linhas de 0,45 a 0,60 m, dependendo da época e sistema de plantio (Borém et al., 2014).

Dentre os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável formulados pela Organização das Nações Unidas está a necessidade de novas fontes de energia limpa, para diminuição da utilização de combustíveis fósseis e aumento da matriz energética (EPE, 2023). O Brasil que é precursor na produção de biocombustíveis, com destaque para o etanol de cana-de-açúcar, busca diversificação na matéria prima com o uso de outras culturas no período de entressafra para diversificar o plantio e diminuir a dependência de uma única cultura (Lacerda et al., 2022; Valdes et al., 2016; Hausman, 2012). A versatilidade do sorgo ultrapassa a alimentação humana, vegetal e de cobertura de solos, levando a cultura a uma exploração com potencial para produção de

bioenergia por possuir características semelhantes às do milho e possibilitar através do amido a produção de etanol (Rooney, 2004; Mathur et al., 2017).

No processo de produção de etanol os grãos do sorgo são moídos, molhados e cozidos para gelatinizar o amido que então é decomposto enzimaticamente em açúcares e convertidos em etanol pela ação das leveduras. Esse processo é ainda mais interessante pela possibilidade de ser utilizado em refinarias de milho (Barbosa et al, 2022). Outro fator é a produção dos coprodutos WDG (Wet Distillers Grains – grãos úmidos de destilaria) e o DDG (Dried Distillers Grains - grão seco de destilaria) com alto valor agregado para alimentação animal, por serem fonte de proteínas, alta concentração de gordura, baixo teor de amido e fonte de fibras (Kleinschmit et al., 2006).

Em 2024, a INPASA, uma das maiores biorefinarias de álcool de cereais do Brasil comunicou que a partir de 2025 iniciará o recebimento do grão para produção de etanol e DDGs, o que trará aumento na demanda do cereal, suas novas unidades em Sidrolândia (MS) e Balsas (MA) deverão utilizar 40% da produção nacional de sorgo, com capacidade para esmagar 2 milhões de toneladas de sorgo por ano (Inpasa, 2024).

2.3. Melhoramento genético de sorgo granífero

O principal objetivo dos programas de melhoramento genético de sorgo granífero no Brasil é o desenvolvimento de cultivares com potencial produtivo de grãos elevado e adaptadas a cultivo em segunda safra. Pelo caráter poligênico e da baixa herdabilidade da característica produtividade é necessário correlacionar outras variáveis para avaliar o potencial do híbrido.

Desse modo, o melhoramento busca redução em danos que possam ser de causas bióticas (antracnose, míldio, ergot, helmintosporiose, podridão no colmo, *Spodoptera frugiperda* e pulgão) ou abióticas (seca, acidez do solo, baixas temperaturas no inverno na região Centro-Sul e deficiência nutricional), que têm como resultados redução ou perda de qualidade e produção dos grãos (Menezes, 2021; Greveniotis et al., 2021). A seleção ocorre para reunir as melhores características em um único genótipo (Nogueira et al., 2015).

Algumas variedades de sorgo são encontradas no Brasil, porém, a utilização de híbridos simples para o plantio é preferencialmente utilizada devido

a superioridade de rendimento de grãos em relação às melhores variedades. O sorgo, apesar de ser uma planta autógama, demonstra vigor híbrido (Maunder, 1972; Rao, 1972; Doggett, 1988; Rooney, 2004; Santos, 2020; Menezes, 2021). Os híbridos simples comercializados expressam a máxima produtividade na primeira geração, porém, na segunda geração o rendimento de grãos é reduzido em 15 a 40%, o que torna necessário a aquisição de sementes todos os anos (Menezes, 2018; Timm et al., 2020).

De acordo com Ramalho et al. (2012), a obtenção dos híbridos segue quatro etapas, iniciando pela escolha das populações segregantes, obtenção das linhagens, avaliação do potencial de recombinação das linhagens e o teste das combinações híbridas obtidas. É esperado que ao final do processo resulte combinações híbridas que apresentem o máximo de vigor híbrido, também denominado de heterose, onde há superioridade fenotípica e genotípica da progênie em relação à média de seus parentais (Rooney, 2012; Troyer e Wellin, 2009).

O potencial do híbrido é medido pelo desempenho da linhagem, sendo o sorgo uma cultura autógama, não se deve inferir o potencial da progênie através do dos genitores. De acordo com Sousa (2011) e Santos (2020), sorgo por sua natureza autógama apresenta pequena depressão por endogamia em comparação às alógamas e baixa taxa de cruzamento natural, que pode variar de acordo com o genótipo e ambiente. A depressão por endogamia afeta o sorgo em média 50% com o avanço das gerações, principalmente de F1 para F2 (Goyal e Joshi, 1984; Pandey e Shrotria, 2012).

Para a produção de híbridos comerciais, utiliza-se o sistema de macho-esterilidade genético-citoplasmática, que envolve a interação entre o citoplasma e genes restauradores da fertilidade (Menezes, 2021). São utilizadas linhagens macho-estéreis, denominada A, que é o resultado do cruzamento de plantas macho-estéreis com uma linhagem mantenedora, denominada B. Estas plantas macho-estéreis (A), são cruzadas com linhagens restauradoras de fertilidade denominadas R, resultando em um híbrido fértil. (Rooney, 2004; Smith; Frederiksen, 2000). A utilização desse sistema reduz os gastos com mão-de-obra qualificada e tempo de execução para emasculação (Menezes et al., 2018).

Para Menezes (2021), o rendimento de grãos é a característica de maior interesse no melhoramento genético do sorgo granífero, que é uma característica de baixa herdabilidade, portanto outras características podem influenciar indiretamente esta característica.

O ciclo e a altura de plantas são características que em condições livres de estresse hídrico tem correlação positiva com a produção de grãos, enquanto em período de segunda safra onde ocorre o estresse hídrico os híbridos precoces possuem maior rendimento em comparação aos tardios, possivelmente pela habilidade de completar o ciclo precocemente escapando da seca. A altura de plantas tem uma correlação positiva com a produção de grãos, a altura ideal de híbridos de sorgo deve estar entre 130 e 150 cm (Santos et al., 2005).

Contornar a queda na produção de grãos em períodos de estresse hídrico é um dos desafios do melhoramento genético da cultura, o que resultaria em aumento e estabilidade na produção de grãos em regiões como o Cerrado em segunda safra (Menezes *et al.*, 2018). Os genes responsáveis pela produtividade e resistência a seca são independentes, separados em pelo menos alguns loci. Dessa forma, o melhoramento para resistência pode ser realizado sem afetar negativamente a produção ou adaptabilidade (Blum, 1974).

Os fatores abióticos de maior impacto na cultura do sorgo são a temperatura e umidade do ar, radiação solar e disponibilidade de água no solo (Matos et al., 2021), sendo o último o de maior influência sobre a produtividade. O estresse hídrico pode ocorrer em pré ou pós-florescimento, reduzindo o rendimento de grãos.

Em pré-florescimento, o estresse reduz a altura de plantas, antecipa o florescimento e aumenta o ângulo de raiz. Em pós-florescimento ocorre a redução no tamanho do grão. Quando a umidade volta em pré-florescimento o grão cresce normalmente, o resultado desse estresse está na redução do número de grãos presentes na panícula, diferentemente do que acontece no estresse pós-florescimento, quando há redução no tamanho do grão pela diminuição da taxa fotossintética reduzida após 30 dias do estresse (Menezes, 2021).

2.4. Interação Genótipos x Ambientes

A interação genótipos x ambientes envolve dois fatores e como eles interagem entre si. O genótipo, definido como a constituição genética de um organismo, determinada pelo somatório de genes agrupados nos cromossomos e o ambiente, conjunto de condições externas ao organismo que agem diretamente no crescimento e desenvolvimento de plantas que não são de origem genética (Borém et al., 2021).

As interações podem ser classificadas como simples ou complexas. A simples é classificada pela ausência de alteração na ordem de classificação dos genótipos nos diferentes ambientes, ou seja, os melhores genótipos em um ambiente também são os melhores em outros ambientes. A complexa se apresenta pela falta de correlação entre o desempenho dos genótipos nos diferentes ambientes, possuindo respostas diferentes às variações de ambiente, alterando sua classificação, ou seja, aquele que se sobressaiu em um ambiente pode ter comportamento inferior em outro ambiente.

A interação complexa limita a recomendação de cultivares, exigindo do melhorista o uso de técnicas diferenciadas para seleção de genótipos superiores e utilização de métodos alternativos para identificação de materiais com alto potencial genético (Cruz et al., 2012; Robertson, 1959).

Para minimizar os efeitos da interação GxA complexa, pode-se adotar estratégias como a identificação de cultivares específicas para cada ambiente; realizar a estratificação do ambiente e identificar cultivares com maior estabilidade fenotípica (Ramalho et al., 1993).

Para garantia da precisão experimental é necessário a avaliação dos genótipos em diferentes ambientes, durante a seleção de indivíduos superiores, principalmente para características quantitativas (Rosado *et al.*, 2019). O fenótipo pode apresentar grande variabilidade genética, sendo assim, os genes não reagem da mesma forma nos diferentes ambientes, necessitando de estudos de interação genótipos x ambientes (Menezes, 2021).

A produtividade de grãos é amplamente afetada por fatores ambientais alterando a classificação dos genótipos avaliados em cada ambiente testado (Regazzi, 2014). Para reduzir os efeitos da interação, a utilização da estratificação ambiental pode ser utilizada para identificar ambientes com alta

correlação, formando um padrão de resposta dos genótipos, formando sub-regiões em que a interação $G \times A$ resulte em não significativa ou simples, estabilizando a classificação dos genótipos, facilitando a recomendação nessas sub-regiões (Cruz, 2014).

A avaliação dos híbridos experimentais em ensaios de múltiplos ambientes (MET – *multi environment trials*) para medir a interação $G \times A$ é essencial para a validação do desempenho e recomendação. O ensaio de valor de cultivo e uso (VCU) é um desses MET. Sua realização é obrigatória para que possa ser realizado o registro legal das novas cultivares, garantindo a confiança e confiabilidade na recomendação de um cultivar ou híbrido (Cruz, 2014). Uma vez que se sabe que a constituição genética do híbrido não muda de um ambiente para outro (exceto em casos de mutação), as alterações nos fenótipos são resultadas dos efeitos ambientais (Squilassi, 2003).

O genótipo possui uma interação com os ambientes de cultivo e responde positivamente a ambientes favoráveis, o que evidencia como a estabilidade fenotípica entre ambientes é essencial. Híbridos que se mantêm estáveis em diferentes ambientes e possuam produtividade superior é o que o melhoramento genético almeja (Seyoum et al., 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e condução do experimento

O experimento foi conduzido no sítio Santa Fé, localizado no município de Sinop, Mato Grosso, sob as coordenadas 11°46'27" Sul e 55°33'25" Oeste, numa altitude de 379 m em relação ao nível do mar. Os experimentos foram semeados nas segundas safras nos anos de 2023 e de 2024, após o cultivo de soja em primeira safra, em sistema de plantio direto.

Conforme escala de Köppen o clima do local em que os experimentos foram conduzidos é classificado como Aw (tropical semiúmido), com temperatura do ar média anual de 25°C, média da mínima de 18°C, média máxima de 35°C, umidade relativa do ar média anual de 83% e precipitação acumulada média anual de 2.250mm (Alvares et al., 2013). A região possui duas estações do ano bem definidas, uma estação chuvosa, de outubro a abril, e uma estação seca, de maio a setembro.

Os dados climáticos de precipitação período de condução do experimento dos anos de 2023 e 2024, encontram-se na Figuras 1 (EMBRAPA, 2024).

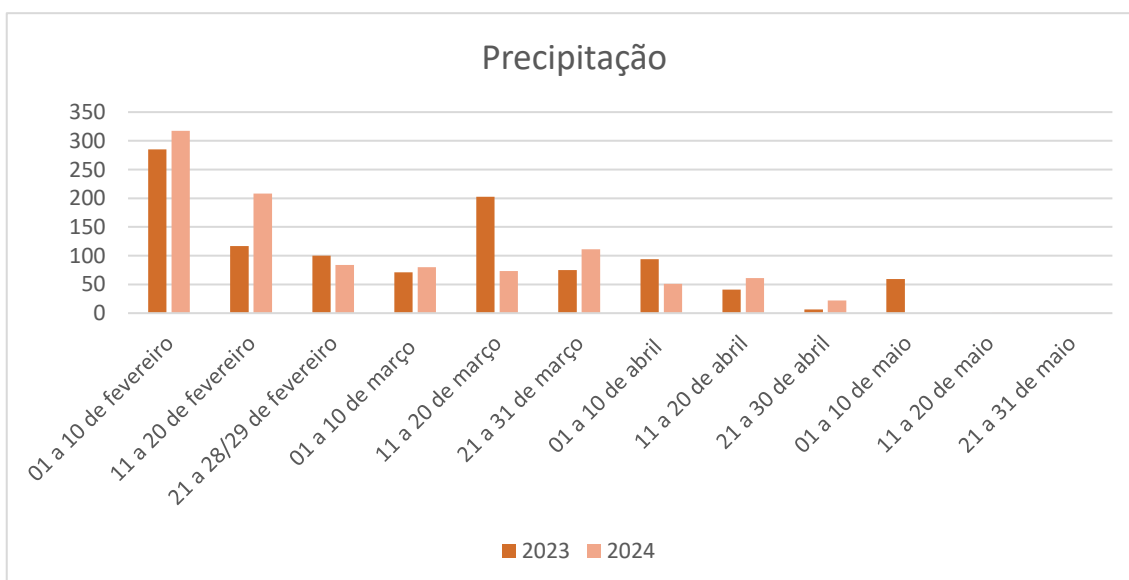


Figura 1 – Precipitação em milímetros no período de 01 de fevereiro a 31 de maio dos anos de 2023 e 2024, em Sinop – MT.

A partir do mês de maio, não houve ocorrência de precipitação até a data da colheita, nos anos de 2023 e 2024.

As Figuras 2 e 3, contêm dados de temperatura máximas, mínimas e médias registradas nos meses de fevereiro a julho dos anos de 2023 e 2024, respectivamente.

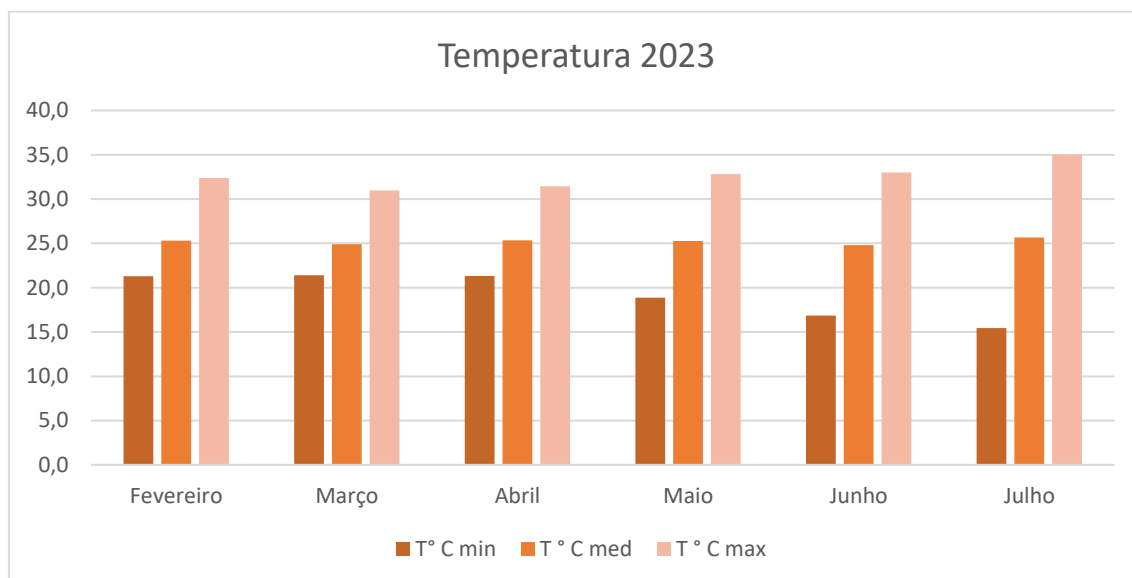


Figura 2 – Temperaturas máximas, mínimas e médias, em graus celsius, no período de fevereiro a julho de 2023, em Sinop – MT.

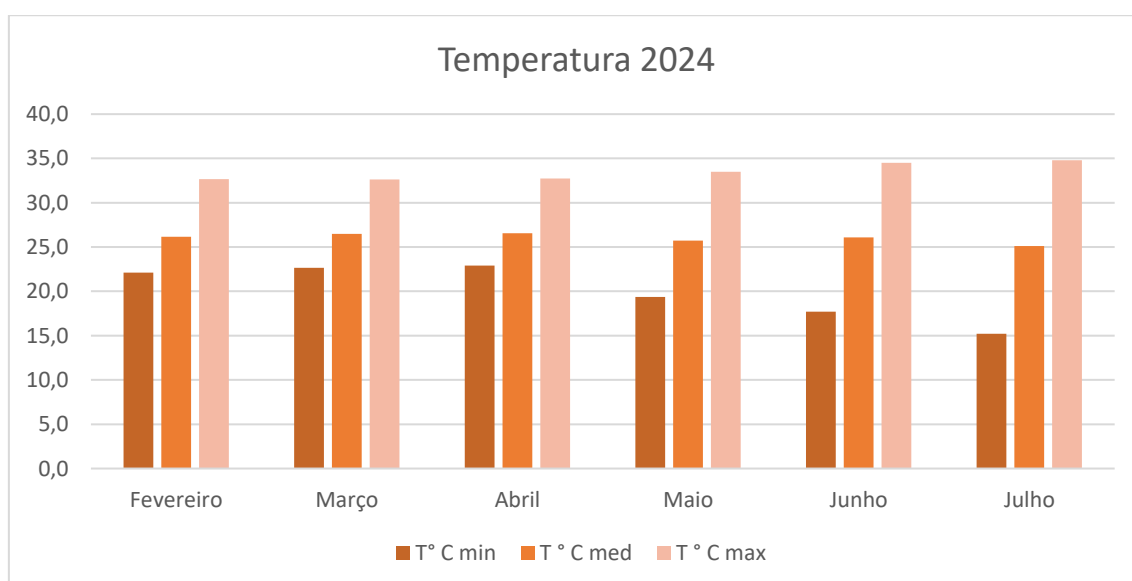


Figura 3 – Temperaturas máximas, mínimas e médias, em graus celsius, no período de fevereiro a julho de 2024, em Sinop – MT.

A semeadura do experimento em 2023 ocorreu no dia 14 de fevereiro e a colheita no dia 05 de julho. Para o experimento de 2024, a semeadura ocorreu no dia 26 de fevereiro de 2024 e a colheita no dia 10 de julho de 2024.

Em cada ambiente, foram avaliados 23 híbridos no delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições, parcelas de 4 linhas de 5 m e espaçamento de 0,70 m entre linhas. A área útil da parcela foi constituída pelas duas linhas centrais, totalizando uma área útil de 7 m².

As sementeiras foram realizadas utilizando-se semeadora de parcelas Wintersteiger® de duas linhas, acoplada a um trator. Para a colheita, foi utilizada a colhedora de parcelas Wintersteiger® com plataforma utilizada para colher soja.

A adubação de plantio foi de 350 kg ha⁻¹ de N-P-K na formulação comercial 4-30-10 e utilizado 400 kg ha⁻¹ de N-P-K na formulação 20-00-20 como adubação de cobertura.

3.2. Genótipos e características avaliadas

Um total de 23 híbridos de sorgo granífero foram submetidos à avaliação, sendo 20 em fase experimental, pertencentes ao Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento genético de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo e três cultivares comerciais, utilizados como testemunhas (Tabela 1).

Tabela 1. Híbridos de sorgo granífero avaliados nas segundas safras de 2022/2023 e 2023/2024 no município de Sinop, Mato Grosso.

Código	Genótipo	Procedência
1	1621G057	Experimental Embrapa
2	1822G053	Experimental Embrapa
3	2217G33	Experimental Embrapa
4	2217G29	Experimental Embrapa
5	2217G25	Experimental Embrapa
6	2220034G	Experimental Embrapa
7	CMSXS3002	Experimental Embrapa
8	CMSXS3004	Experimental Embrapa
9	CMSXS3011	Experimental Embrapa
10	CMSXS3012	Experimental Embrapa
11	CMSXS3013	Experimental Embrapa
12	CMSXS3015	Experimental Embrapa
13	CMSXS3017	Experimental Embrapa
14	CMSXS3018	Experimental Embrapa
15	CMSXS3019	Experimental Embrapa
16	CMSXS3020	Experimental Embrapa
17	CMSXS3021	Experimental Embrapa
18	CMSXS3023	Experimental Embrapa
19	CMSXS3025	Experimental Embrapa
20	CMSXS3029	Experimental Embrapa
21	BRS 3318	Híbrido comercial Embrapa
22	AG1085	Híbrido comercial Agrocere
23	BRS 373	Híbrido comercial Embrapa

As características avaliadas foram altura de planta, estande, umidade e peso de grãos. Os dados de altura de plantas e estande foram coletados antes da colheita e os dados de umidade e peso de grãos após a colheita.

A produção de grãos foi corrigida para a umidade de 13%, de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{PG13\%} = \frac{\text{Peso úmido} \times (100 - \text{umidade atual})}{87}$$

Tabela 2. Descrição das características avaliadas nos híbridos de sorgo cultivados na segunda-safra de 2022/2023 e 2023/2024 no município de Sinop, Mato Grosso.

Características	Unidade de medida	Forma de avaliação
Altura de plantas (AP)	Centímetros (cm)	Coletadas as alturas de cinco plantas representativas de cada parcela, medindo do solo até o ápice da panícula e posteriormente calculada a média.
Estande	Plantas por hectare	Número total de plantas presentes na parcela, convertido posteriormente para um hectare.
Umidade	Porcentagem (%)	Leitura do teor de umidade através do medidor de umidade G600 da marca GEHAKA.
Produção de grãos	Toneladas por hectare (t.ha ⁻¹)	colhidos os grãos de cada parcela, pesados e corrigidos para 13% de umidade.

3.3. Análises estatísticas

O delineamento ocorreu com três repetições, em esquema fatorial 23 x 2, totalizando 69 parcelas experimentais em cada ambiente e 138 no total. Inicialmente foram realizadas análises de variância individuais, e posteriormente uma análise de variância conjunta para cada característica, considerando os dois ambientes, e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Para as análises individuais considerando cada ambiente, foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_i = \mu + G_i + B_j + e_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} = observação referente ao genótipo i no bloco j ;

μ = média geral;

G_i = efeito do i -ésimo genótipo;

B_j = efeito do j -ésimo bloco; e,

e_{ij} = efeito do erro experimental associado à observação de ordem ij .

Posteriormente, foi realizada a análise conjunta envolvendo os dois ambientes. O efeito de genótipos e de ambientes foram considerados fixos. O modelo estatístico da análise de variância conjunta dos dois ambientes foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + e_{ijk}$$

Onde:

Y_{ijk} = observação referente ao genótipo i , no bloco j dentro do ambiente k ;

μ = média geral;

G_i = efeito do i -ésimo genótipo considerado fixo;

A_j = efeito do j -ésimo ambiente, considerado fixo;

GA_{ij} = efeito da interação entre o i -ésimo genótipo e o j -ésimo ambiente, considerado fixo;

B / A_{jk} = efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente, considerado aleatório; e

e_{ijk} = efeito do erro experimental associado à observação de ordem ijk , considerado aleatório.

Posteriormente, para aquelas características que apresentaram diferenças significativas na interação entre genótipos e ambientes, foi realizado o desdobramento da interação, avaliando os genótipos dentro de cada ano.

Foi realizada a decomposição da interação, de acordo com Cruz & Castoldi (1991), determinando o percentual da parte simples e complexa da interação. Aos que apresentaram valores abaixo de 50% na interação complexa tiveram desempenho semelhante.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico Genes (Cruz, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância em cada ambiente estão apresentados na tabela 3. A precisão experimental foi avaliada pelo coeficiente de variação (CV). Os coeficientes de variação experimental (CV) variaram de 3,34% para altura de plantas a 13,65% para produtividade de grãos, indicando boa precisão experimental de acordo com a classificação proposta por Pimentel-Gomes (2009). Para altura de plantas, a estimativa de CV obtida corrobora os resultados de Silva (2015) em Sinop – MT, que obteve valores inferiores a 6%. O CV para peso de grãos (13,65%) também se manteve dentro do limite máximo de 20% estabelecido pelo MAPA para ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

Inicialmente foi realizada a análise de variância individual para genótipos e ambiente (Tabela 3) onde mostrou que as características altura, estande e peso de grãos apresentaram diferenças significativas. Para umidade de grão, foi significativa entre os genótipos e não significativa para os ambientes, demonstrando que a mudança de um ambiente para outro não influenciou os percentuais de umidade.

A interação genótipos x ambientes apresentou efeito significativo para estande, altura de plantas e umidade ($p < 0,01$) e para peso de grão (PG) ($p < 0,05$) (Tabela 3). Esses resultados indicam que o comportamento dos genótipos não foi coincidente entre os diferentes ambientes avaliados.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de plantas, estande, peso de grãos (PG) e umidade de grãos para 23 genótipos de sorgo graníferos cultivados em Sinop, Mato Grosso, segunda safra 2023 e 2024.

FV	GL	Estande	Altura	PG	UMIDADE
BLOCOS/AMB	4	371,4796	4,4058	0,19721	0,14768
GENÓTIPOS (G)	22	1938,4380 **	1403,204 **	6,65743 **	1,04742 *
AMBIENTES (A)	1	0,7542 **	2539,594 **	69,49127 **	0,00725 ns
GxA	22	1786,7690 **	91,82148 **	1,19063 *	0,48391 **
G/A 1	22	62779,5800 **	17669,3 **	81,11028 **	14,83159 **
G/A 2	22	19174,9800 **	15221,25 **	91,54703 **	18,85768 **
A/G1		2295,0530 **	486 **	1,9841 ns	0,3267 ns
A/G2		21870,4800 **	48,16667 Ns	0,0015 ns	0,7350 *
A/G3		174,0324 ns	80,66667 Ns	5,1234 **	0,1350 ns
A/G4		233,3137 ns	60,16667 Ns	0,92732 ns	0,0067 ns

A/G5	23,61754	ns	66,66667	Ns	2,70373	ns	0,6017	ns
A/G6	3648,6440	**	486	**	17,10721	**	0,6017	ns
A/G7	156,1926	ns	433,5	**	0,95561	ns	0,0817	ns
A/G8	0,4822	ns	504,1667	**	0,61152	ns	0,0067	ns
A/G9	1253,7980	*	400,1667	**	3,86741	*	0,2017	ns
A/G10	48,2007	ns	140,1667	*	0,83574	ns	0,3750	ns
A/G11	1303,4880	*	337,5	**	2,95991	*	0,0150	ns
A/G12	1913,2350	**	42,66667	Ns	3,43345	*	0,0417	ns
A/G13	277,6713	ns	140,1667	*	0,02095	ns	0,0817	ns
A/G14	696,0867	ns	0,66667	Ns	2,54437	ns	0,0150	ns
A/G15	108,4685	ns	73,5	Ns	0,79767	ns	1,7067	**
A/G16	1303,4580	*	308,1667	**	1,27135	ns	0,0067	ns
A/G17	108,4685	ns	2,66667	Ns	2,97919	*	0,4267	ns
A/G18	30,8493	ns	400,1667	**	9,88962	**	0,0000	ns
A/G19	557,2499	ns	13,5	Ns	19,00257	**	4,6817	**
A/G20	139,3077	ns	10,66667	Ns	2,46285	*	0,1350	ns
A/G21	2295,0530	**	181,5	**	2,80796	*	0,0150	ns
A/G22	212,5935	ns	20,16667	Ns	5,42679	**	0,3750	ns
A/G23	659,9259	ns	322,6667	**	7,97092	**	0,0817	ns
RESÍDUO	88	239,3266	23,7013		0,6977		0,1575	
MÉDIA		162,6	145,7		6,11		10,95	
CV(%)		9,51	3,34		13,65		3,62	

Ao observar o comportamento dos genótipos dentro de cada ambiente (G/A1 e G/A2), pode-se observar que houve diferença significativa entre os genótipos dentro de cada ambiente.

Ao analisar o efeito do ambiente dentro de cada genótipo, observou-se que, para estande, em 15 genótipos não houve diferença significativa entre os ambientes. Para altura e peso de grãos, 11 genótipos não mostraram diferenças significativas entre os ambientes. Apenas os genótipos 2, 15 e 19 tiveram diferenças significativas entre os ambientes para a característica umidade, o que pode ser devido a diferença de dias em que os experimentos foram colhidos, em 2023 ficaram a campo 135 dias e em 2024 foram 141 dias.

Em relação à umidade, houve variação entre as safras apenas para os genótipos 2, 15 e 19, possivelmente devido à diferença no ciclo da cultura, que foi de 135 dias em 2023 e de 141 dias em 2024.

Na Tabela 4, é possível observar as médias dos genótipos nas duas safras. Pelos grupamentos de médias formados no teste de Scott-Knott, a característica altura de plantas demonstrou maior variabilidade entre os genótipos, formando seis grupos distintos: a produção de grãos apresentou

quatro grupos de médias, enquanto o estande e a umidade apresentaram três grupos de médias cada.

Quando comparados os dois anos de avaliação da segunda safra para a altura pode-se observar que os genótipos apresentaram maior altura em 2023, com média de 150,1 cm, em comparação à colheita de 2024, com média de 141,49 cm. Na escolha do híbrido, quanto à altura de plantas, deve-se ponderar aqueles com porte muito baixo, a ponto de limitar a produtividade, ou aqueles muito altos que são propensos ao acamamento (Menezes et al., 2015).

O genótipo 2217G25 foi o de menor altura nas duas safras (ambientes), com altura média de 109,3 cm em 2023 e 116,0 cm em 2024. O genótipo mais alto foi o 2220034G, com porte de 184,3 cm, na segunda safra 2023, ultrapassando os 170 cm recomendados para facilitar a colheita mecanizada. Conforme Gomes (2019), a produção de grãos está positivamente relacionada com a altura de plantas, porém plantas com porte significativamente maior apresentam amplitude na probabilidade de ocorrência de acamamento, devendo então selecionar genótipos de porte médio.

Entre as testemunhas, o híbrido BRS373 apresentou a menor altura média nas duas safras (130,3 e 115,7 cm), valores próximos aos reportados por Gomes (2019) em experimento de segunda safra em Sinop-MT (122 cm) e na cidade de Rio Verde-GO (119 cm).

O estande médio na segunda safra 2023 foi 162,7 mil plantas/ha⁻¹ e na mesma etapa em 2024 foi de 162,5 mil plantas/ha⁻¹, dentro do recomendado de 160 a 180 mil plantas/ha⁻¹. O genótipo 1822053 na segunda safra de 2023 demonstrou estande bem abaixo dos demais genótipos avaliados, o que pode estar ocasionado por sementes com problemas de germinação e, por esta razão, prejudicado quanto a avaliação de seu desempenho produtivo, devendo ser avaliado em mais anos e locais para confirmar sua real performance.

Tabela 4. Média das características avaliadas em 23 genótipos de sorgo cultivados em Sinop, Mato Grosso, nas segundas safras 2023 e 2024.

Genótipos	Características							
	Altura (cm)		Estande (mil plantas/ha ⁻¹)		PG (tha ⁻¹)		Umidade (%)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
1621057	169,7 A b	151,7 B c	187,6 A a	148,5 B b	5,6917 A b	4,542 A c	10,4 A c	10,8 A b
1822053	150,0 A d	155,7 A b	58,4 B c	179,1 A a	5,5109 A b	5,543 A b	11,7 A a	11,0 B a
2217G33	144,7 A d	137,3 A d	165,0 A a	154,2 A b	7,3968 A a	5,549 B b	10,7 A b	10,4 A b
2217G29	131,0 A e	124,7 A e	135,5 A b	148,0 A b	6,0696 A b	5,283 A b	10,5 A b	10,4 A b
2217G25	109,3 A f	116,0 A F	128,1 A b	132,1 A b	5,6516 A b	4,309 A c	9,9 A c	10,5 A b
2220034G	184,3 A a	166,3 B a	194,4 A a	145,1 B b	8,4832 A a	5,106 B b	10,9 A b	11,5 A a
CMSXS3002	134,7 A e	117,7 B F	153,1 A b	163,3 A b	6,3428 A b	5,545 A b	11,3 A a	11,1 A a
CMSXS3004	141,3 A d	123,0 B e	182,0 A a	182,5 A a	5,9187 A b	5,280 A b	11,1 A a	11,0 A a
CMSXS3011	163,7 A b	147,3 B c	182,0 A a	153,1 B b	7,7317 A a	6,126 B a	10,9 A b	11,2 A a
CMSXS3012	162,7 A b	153,0 B c	144,6 A b	150,2 A b	6,5554 A b	5,809 A b	10,8 A b	11,3 A a
CMSXS3013	165,0 A b	150,0 B c	188,2 A a	158,7 B b	6,3023 A b	4,898 B b	11,2 A a	11,1 A a
CMSXS3015	169,3 A b	164,0 A a	151,4 B b	187,1 A a	8,2768 A a	6,764 B a	11,6 A a	11,4 A a
CMSXS3017	144,7 A d	135,0 B d	163,3 A a	176,9 A a	6,9125 A b	6,794 A a	10,8 A b	11,0 A a
CMSXS3018	159,7 A c	159,0 A b	134,9 A b	156,5 A b	6,5092 A b	5,207 A b	11,6 A a	11,5 A a
CMSXS3019	156,3 A c	149,3 A c	167,8 A a	176,3 A a	7,3001 A a	6,571 A a	10,1 B c	11,2 A a
CMSXS3020	138,7 A e	124,3 B e	206,3 A a	176,9 B a	6,0338 A b	5,113 A b	10,8 A b	10,9 A b
CMSXS3021	144,7 A d	143,3 A c	181,4 A a	189,9 A a	6,9579 A b	5,549 B b	10,8 A b	11,4 A a
CMSXS3023	162,7 A b	146,3 B c	181,4 A a	185,9 A a	9,4954 A a	6,928 B a	11,6 A a	11,6 A a
CMSXS3025	138,3 A e	141,3 A c	140,6 A b	159,9 A b	5,1369 A b	1,578 B d	10,8 A b	9,0 B c
CMSXS3029	153,3 A c	150,7 A c	180,3 A a	170,6 A a	7,6699 A a	6,389 A a	11,4 A a	11,1 A a
BRS3318	146,7 A d	135,7 B d	168,9 A a	129,8 B b	6,8803 A b	5,512 A b	11,1 A a	11,0 A a
AG1085	150,7 A d	147,0 A c	167,2 A a	155,3 A b	8,2932 A a	6,391 B a	11,2 A a	10,7 A b
BRS373	130,3 A e	115,7 B F	179,1 A a	158,2 A b	5,9074 A b	3,602 B c	10,7 A b	11,0 A a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não apresentam diferença estatística, pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

A segunda safra 2023 obteve maior média de produção de grãos com 6,8273 ton ha⁻¹, em comparação ao mesmo período em 2024, que apresentou média de 5,4080 ton ha⁻¹, uma produtividade superior a 20%. Um dos fatores que pode explicar essa diferença é a desuniformidade de chuvas que ocorreu no segundo ano do experimento e a baixa precipitação na fase de enchimento de grãos, onde os níveis pluviométricos foram próximos a zero a partir dos 60 dias pós plantio.

A produtividade de grãos em segunda safra pode ter sido afetada pela possibilidade de ocorrência de estresse hídrico (Menezes et al., 2015). Os genótipos que apresentaram os maiores rendimentos, quando comparados com os demais nos dois anos, foram o CMSXS3011, CMSXS3015, CMSXS3019, CMSXS3023, CMSXS3029 e a testemunha comercial AG1085.

O genótipo CMSXS3023 apresentou produção de grãos nas duas safras, de 9,4954 e 6,9277 ton ha⁻¹, ficando no primeiro grupo de médias quando se comparam os genótipos em cada safra, além de, altura compatível com as desejadas para colheita mecanizada de 162,7 e 146,3 cm, nas segundas safras 2023 e 2024. Dentre as testemunhas, o AG1085 proporcionou melhores produções de grãos com 8,2932 e 6,3911 ton ha⁻¹.

O genótipo CMSXS3015 mostrou rendimento alto (8,2768 e 6,764 ton ha⁻¹), próxima a testemunha AG1085, com 8,2768 e 6,7639 ton ha⁻¹, apesar de ter um porte mais alto em comparação aos genótipos mais produtivos e testemunhas. As produtividades foram acima do encontrado por Paranhos et al., (2022), de 5,9 ton ha⁻¹, em avaliação com híbridos de sorgo granífero em Goiás.

O genótipo CMSXS3025 apresentou uma produtividade significativamente menor que os demais no segundo ano agrícola, com 1,5776 ton ha⁻¹, que pode ter sido mais fortemente afetado por ser um genótipo de ciclo curto (90 a 120 dias) associado a falta de chuvas na fase de pós florescimento, ou até ter sido prejudicado por alguma doença como o ergot, prejudicando o desenvolvimento dos grãos. Para Silva et al. (2012), existem doenças que limitam a cultura do sorgo como a antracnose, helmintosporiose, míldio, doença açucarada do sorgo, ferrugem, cercosporiose e a podridão seca. A ocorrência destas doenças está ligada a susceptibilidade do híbrido ou cultivar utilizado e as condições ambientais. A mudança dos fatores climáticos de uma safra para

outra (figura 1, 2 e 3), proporciona grande influência no rendimento dos genótipos de sorgo granífero.

Os genótipos que apresentaram diferenças entre as porcentagens de umidade entre segundas safras foram o 1822053, CMSXS3019 e CMSXS3025. Entre os genótipos em cada safra, no ano de 2023 o 1621057 (10,4%), 2217G25 (9,9%) e CMSXS3019 (10,1%) possuíram as menores umidades, já em de 2024 o genótipo CMSXS3025, com 9,0%, obteve umidade mais baixa estatisticamente em relação aos outros genótipos no mesmo ano. As maiores umidades tiveram percentual em torno de 11% e os menores por volta de 9%. As diferenças entre as umidades se devem a questões de logística na colheita, ocorrendo mais tarde, ficando assim as plantas em campo um maior tempo.

Na Tabela 5, resultados da decomposição da interação demonstram que a interação GXA predominante é do tipo complexa para as características estande, peso de grãos e umidade. A ocorrência deste tipo de interação pode dificultar o processo de melhoramento e na seleção dos genótipos para lançamento comercial, uma vez que são necessários maior número de ensaios e análises para identificação de indivíduos superiores e produtivos para as distintas áreas de produção (Ramalho et al., 1993; Cruz et al., 2004). Esta interação pode ser amenizada, pela identificação de cultivares com maior estabilidade fenotípica em ambientes de estresse.

Tabela 5. Decomposição percentual da interação Genótipo x Ambiente (G X A) em suas partes simples e complexa, segundo Cruz e Castoldi (1991), para as características Estande de plantas, Altura de Plantas, Produção de Grãos (PG) e Umidade, avaliadas em experimento com 23 genótipos de sorgo granífero cultivados em Sinop nas segundas safras de 2023 (ambiente 1) e 2024 (ambiente 2).

Parte de interação (%)	Características			
	Estande	Altura	PG	Umidade
Simples	18,0	66,1	45,4	21,6
Complexa	82,0	33,9	54,6	78,4

Conforme a metodologia de Cruz e Castoldi (1991), a interação para altura de plantas foi predominantemente simples (Tabela 5), o que significa que os genótipos mantiveram um desempenho relativo similar entre as safras. Aqueles que foram mais altos em 2023 também se destacaram pela altura em 2024, e os mais baixos seguiram a mesma tendência. Lara (2022), avaliando cultivares de

sorgo biomassa também identificou que para altura dos genótipos a interação GxA é predominantemente do tipo simples.

Quando ocorre interação complexa, devem ser feitos estudos de adaptabilidade e estabilidade de produção buscando identificar cultivares adaptadas e que sejam estáveis frente às variações ambientais e responsivas às melhorias no ambiente (Ramalho et al., 1993). Segundo Baker (1988), para determinar a relação do desempenho dos genótipos com a interação GxA, são utilizados métodos que avaliam a adaptabilidade e estabilidade destes híbridos, Lin & Binns (1988), AMMI (Zobel et al., 1988), Annicchiarico (1992) e GGE biplot (Yan et al., 2000) são alguns destes métodos que podem ser aplicados a estes híbridos para avaliar seu real desempenho.

5. CONCLUSÃO

Os genótipos CMSXS3011, CMSXS3015, CMSXS3019, CMSXS3023, CMSXS3029 foram os híbridos mais produtivos nas segundas safras avaliadas, demonstrando potencial de lançamento, porém necessitando de mais avaliações em outros anos e locais.

A natureza da interação foi complexa para produtividade, necessitando assim estudos de adaptabilidade e estabilidade para identificação de materiais mais adaptados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B.; FREITAS, R. S. Origem, evolução e domesticação do sorgo. In: Cicero Beserra de Menezes (Editor).

Melhoramento genético de sorgo. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 59-80.

AVILA, R. **Indução de tolerância a seca em sorgo cultivado sob déficit hídrico e suplementada com silício e nitrato de potássio no pré-florescimento**. 2018. 123 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

BAKER, R. J. Tests for crossover genotype-environment interactions. **Canadian Journal of Plant Science**,

BIBI, A.; SADAQAT, H. A.; AKRAM, H. M.; MOHAMMED, M. I. Physiological markers for screening *sorghum* (*Sorghum bicolor*) germplasm under water stress condition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 12, n. 3, p. 451-455, 2010.

BLUM, A. Genotypic response in *sorghum* to drought stress. I. Response to soil moisture stress. **Crop Science**, v.14, p.361-364, 1974.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: Ed. UFV. 7 ed., 2017. 543 p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**, 8ª edição, São Paulo: Oficina de Textos, p.456, 2021.

BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. A. da C. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2014.

CARRILLO, M. A.; STAGGENBORG S.A.; PINEDA, J.A. Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. **Fuel**, 2014. ed.116, p.427–431.

CASTRO, F. M. R. **Potencial agronômico e energético de híbridos de sorgo biomassa**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. 84 p. Dissertação – Mestrado.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 2024. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>> Acesso em 25 setembro 2024.

CLAYTON, W. D.; RENVOIZE, S. A. 1986. Genera Graminum. **Royal Botanic Gardens**, London. 389 pp.

CONAB (2023). Boletim da safra de grãos/produção e balanço de oferta e demanda de grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info->

agro/safras/graos/boletim-da-safrade-graos. Acessado em: 15 de julho de 2024.

COORS, J. G. Selection methodology and heterosis. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. (ed.). **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: ASA: Crop Science Society of American, 1999. p. 225-245.

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

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, v. 2, p. 668, 2014.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ª ed. Viçosa: Ed. UFV, v. 1, 480 p, 2004.

CRUZ, C. D; CASTOLDI, F. **Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexas**. Revista Ceres. 38:422-430, 1991.

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

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. UFV, v. 1, ed. 4, 2012. p. 110- 142.DOGGETT, H. Physiology and agronomy. In: DOGGETT, H. (ed.). **Sorghum**. London: Longman, 1970. P. 180-211.

DOGGETT, H. **Sorghum**. New York: John Wiley & Sons, 1988.

EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL. Estação meteorológica. **Dados meteorológicos mensais - estação Embrapa Agrossilvipastoril.xlsx**. [Sinop], 2019. 1 Planilha eletrônica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354377/2455052/Dados+meteorol%C3%B3gicos+mensais/fa06cdc7-d4d5-67f0-9f98-986013ce403c>. Acesso em: 3 de junho. 2025.

Empresa de Pesquisa Energética. (2023). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: Ano 2022. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-deconjuntura-dos-biocombustiveis-2022>. Acesso em: 6 de junho.2025.

FILHO, I. A. P.; RODRIGUES, J. A. S. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Embrapa. Brasília- DF, 2015.

GOMES, L. R. R. et al. Performance agronômica de híbridos de sorgo granífero estimada pelo método GGE biplot. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n. 5, p. 42-56, 2019. DOI: 10.5747/ca. 2019.v15.n.5.a322. Disponível em:

chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1120664/1/Performanceagronomica.pdf. Acesso em: 12 de abril de 2025.

GOYAL, S. N. and JOSHI, P. Genetic soft yield and panicle components in grain sorghum hybrids. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**. 44: 96-101. 1984.

GREVENIOTIS, V. et al. Estimations on trait stability of maize genotypes. **Agriculture**, v. 11, p. 952. 2021.

GUIMARAES, D. P. et al. Zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil. **Embrapa**, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219767/1/Doc-254-Zarc-sorgo.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

HAUSMAN, C. (2012). Biofuels and Land Use Change: Sugarcane and Soybean Acreage Response in Brazil. *Environmental and Resource Economics*, 51(2), 163–187. <https://doi.org/10.1007/s10640-011-9493-7> Acesso em: 12 de abril de 2025.

HOUSE, L. R. **A guide to sorghum breeding**. Patancheru: ICRISAT, 1985.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: Estatística da produção agrícola dezembro 2023. Brasília: IBGE, 2024. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=72415>. Acesso em: 12 junho 2024.

Inpasa Brasil. **Inpasa fecha parceria com a Embrapa para diagnóstico sobre Sorgo**. 2024. Disponível em: <https://inpasa.com.br/sala-de-imprensa/inpasa-fecha-parceria-com-a-embrapa-para-diagnostico-sobre-sorgo/>. Acesso em: 14 de abril de 2025.

KLEINSCHMIT, D. H. et al. Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 89, n. 12, p. 4784 – 4794, 2006.

KUBECKA, B. **Sorghum plays role in ethanol's impact**. 2011. Disponível em: <https://ethanolproducer.com/articles/sorghum-plays-role-in-ethanolundefineds-impact-7408> . Acesso em: 12 junho 2024.

LACERDA, M. S.; JUNIOR, J. C. A. S.; & EMILIANO, P. C. (2022). Expansão da cana-de-açúcar: uma investigação via cópulas., 31(2), p.33. In *Revista de Política Agrícola* (pp. 33–50). Embrapa.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Cultivo do milho: clima e solo**. *Sistemas de Produção*, 2. 2012. Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição.

LARA, L. P. Interação entre genótipos de sorgo biomassa e ambientes de cultivo no estado de Mato Grosso. 2022. 37p. Dissertação (**Mestrado em Agronomia**) - Universidade Estadual de Mato Grosso, Cáceres, 2022. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://portal.unemat.br/media/files/DissertacaoFinal_LizandraPaesanoLara_Publicada_UNEMAT_1.pdf. Acesso em: 01 de abril de 2025.

LIRA, M. A. Considerações sobre o potencial do sorgo em Pernambuco. In: **Curso de extensão sobre a cultura do sorgo**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1981. 87-88p.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; MAY, A.; LIMA FILHO, O. F. de; SANTOS, F. C. dos; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. do P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. de. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da reprodução In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. da C. (ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2014. P. 58-88.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; SOUZA, K. R. D. Biologia e fisiologia do sorgo. In **Melhoramento Genético de Sorgo**. Menezes, Cícero Beserra. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1138284>. Acesso em: 27 julho 2024.

MARTINO, H. S. D.; CARDOSO, L. de M.; MORAES, É. A. SANT'ANA, H. M.; QUEIROZ, V. A. V. Por que Utilizar o Sorgo na Alimentação Humana? In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.) **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas- MG, 2014. p. 95-114.

MATHUR, S. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. **Biotechnology for Biofuels**, v. 146, n. 10, p. 1-19, 2017.

MATOS, F. S.; BASÍLIO, A. A. G.; FURTADO, B. N.; GRATÃO, M. S.; BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. Establishment of Sorghum bicolor L. plants under different water regimes. **Acta Iguazu**, v. 10, n.1, p.122-131, 2021.

MAUNDER, A. B. Objectives and approaches to grain and forage sorghum improvement in the Americas. In: RAO, N. G. P.; HOUSE, L. R. (ed.). **Sorghum in seventies**. New Delhi: Oxford & IBH Publishing, 1972.

MENEZES, C. B.; FERNANDES, E. A.; PARRELA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; RODRIGUES, J. A.S. Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. In. **Melhoramento Genético de Sorgo**. Org. Menezes, Cícero Beserra. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1138284>. Acesso em: 27 julho 2024.

MENEZES, C. B. de; COELHO, A. M.; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MENDES, S. M.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; RODRIGUES, J. A. S. É possível

aumentar a produtividade de sorgo granífero no Brasil? In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018, Lavras. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**: livro de palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p. 106-139.

MENEZES, C. B.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M. **Sorgo granífero**: estenda sua safrinha com segurança. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 176).

MIRANDA, R. A.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. O. Economia. In: FILHO, I A. P.; RODRIGUES, J. A. S. **500 perguntas 500 respostas** Sorgo. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Embrapa. 2015.

MONTEIRO, M. C. D.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J.; TABOSA, J. N.; OLIVEIRA, F. J. de; REIS, O. V. dos; BASTOS, G. Q. Avaliação do desempenho de sorgo forrageiro para o semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 1, p. 52-61, 2004

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; GOMES, J. D. **Avanços no melhoramento genético da cultura da soja nas últimas décadas. Doenças da soja**. Melhoramento Genético e Técnicas de Manejo. 2015. Campinas: Millennium Editora, p. 159-178.

PANDEY, S., AND P. K. SHROTRIA. Heterosis and inbreeding depression in forage *Sorghum* [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] **Forage Research**. 38 (1): pp. 35-39 (2012).

PARANHOS, L. R.; DOS SANTOS, C. V.; REIS, Y., MIRANTE, P.; DA SILVA, K. J.; SCHAFFERT, R.; DE MENEZES, C. B. Avaliação da produtividade de grãos de híbridos de sorgo granífero em diferentes ambientes. In: **Congresso Nacional De Milho e Sorgo**, 33, 2022. Sete Lagoas. Brasil: 200 anos de independência: sustentabilidade e desafios para a cadeia produtiva de grãos: resumos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2022.

PARRELLA, R. A. da C.; MENEZES, C. B. de.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFER, R. E. Cultivares. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A., da C. **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, p.169-187. 2014.

PAUL, C. **Agronomia del sorgo**: programa del mejoramento del ICRISAT para América Latina. El Salvador: Centro de Tecnologia Agrícola, 1990.

PEREIRA FILHO I. A.; RODRIGUES J. Á. S. **Coleção 500 Perguntas 500 Respostas, Sorgo**. Embrapa, Brasília, 332p. 2015.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística experimental**. 15. Ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451 p.

PURCINO, A. A. C. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos. **Agroenergia**. Ano II, nº: 3, agosto de 2011.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2012, 305p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RAO, N. G. P. Sorghum breeding in India: recent developments. In: RAO, N. G. P.; HOUSE, L. R. (ed.). **Sorghum in seventies**. New Delhi: Oxford & IBH Publishing, 1972. p. 101-147.

RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 14 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16217/1/Doc_26.pdf> Acesso em: 24 de agosto de 2024.

ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations: biometrical genetics**. New York: Pergamon, 1959. 186p.

ROONEY, W. L. Sorghum improvement- integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. **Advances in Agronomy**, v. 83, p. 37-109, 2004.

ROONEY, W. L. Sorghum improvement-integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. **Advances in Agronomy**, v. 83, n. 10, p. 37-109, 2004.

ROONEY, W. Sorghum breeding. In: **ACQUEAH, G.** (Ed.). Principles of plant genetics and breeding. 2nd ed. Chechester: Wiley-blackwell, 2012. Cap. 34, p. 617-627.

ROSADO, R. D. S., ROSADO, T. B., CRUZ, C. D., FERRAZ, A. G., & LAVIOLA, B. G. (2019). Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. **Scientia Horticulturae**, 248, 291-296

SÁ, L. F. A união da Latina Seeds e Sementes Santa Fé para dominar o emergente (e bilionário) mercado do sorgo. Disponível em: <https://agfeed.com.br/negocios/exclusivo-a-uniao-de-latina-seeds-e-sementes-santa-fe-para-dominar-o-emergente-e-bilionario-mercado-do-sorgo>. AGFeed. Acesso em: 28 setembro 2024.

SABALLOS, A.; VERMERRIS, W.; RIVERA, L.; EJETA, G.; Allelic association, chemical characterization and saccharification properties of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Bioenergy Research**. 2009. cap 1. 193-204p.

SANTOS, C. V., **Heterose e depressão endogâmica em híbridos de sorgo granífero**. Universidade Federal de Viçosa. 2020. 65 p. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento do sorgo. In: BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa – Minas Gerais: Ed. UFV. 2005. p. 429 – 466.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento do sorgo. In: BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa – Minas Gerais: Ed. UFV. 2005. p. 429 – 466.

SEYOUM, A.; SEMAHEGN, Z.; NEGA, A.; SIRAW, S.; GEBREYOHANNES, A.; SOLOMON, H.; LEGESSE, T.; WAGAW, K.; TERRESA, T.; MITIKU, S.; TSEHAYE, Y.; MOKONEN, M.; CHIFRA, W.; NIDA, H.; TIRFESSA, A. Multi-Environment evaluation and genotype x environment interaction analysis of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes in highland areas of Ethiopia. **American Journal of Plant Sciences**, v. 11, p. 1899-1917, 2020. doi:10.4236/ajps.2020.1112136

SHARMA, A. D.; SINGH, N.; KANG, J. K. Short-term waterlogging induced changes in phosphatase activities in shoots and roots of sorghum seedlings: role of phosphatases during waterlogging in relation to phosphorus. **General and Applied Plant Physiology**, v. 31, n. 1/2, p. 7179, 2005.

SILVA, M. J. da; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, N. N. L. D.; PASTINA, M. M.; SIMEONE, M. F.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 379- 385. 2018.

SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. **Sorghum**: origin, history, technology, and 623 productions. New York: John Wiley & Sons, 2000

SMITH, O.; NICHOLSON, W. V.; KISTLER, L.; MACE, E.; CLAPHAM, A.; ROSE, P.; STEVENS, C.; WARE, R.; SAMAVEDAM, S.; BARKER, G.; JORDAN, D.; FULLER, D. Q.; ALLABY, R. G. A domestication history of dynamic adaptation and genomic deterioration in Sorghum. **Nature Plants**, v. 5, p. 369-379, 2019.

SOUZA, V. F. de. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. Janaúba: Universidade Estadual de Montes Carlos, 2011. 63 p. (Dissertação de Mestrado).

SQUILASSI, M.G. Interação de genótipos com ambientes. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2003, 47p. Disponível em <<http://www.cpatc.embrapa.br>>. Acesso em: 12 julho 2024.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V. dos; BRITO, A. R. de M. B.; MONTEIRO, M. C. D.; SIMPLÍCIO, J. B.; OLIVEIRA, J. A. C. de; SILVA, F. G. da; AZEVEDO NETO, A. D. de; DIAS, F. M.; LIRA, M. de A.; TAVARES FILHO, J. J.; NASCIMENTO, M. M. A. do; LIMA, L. E. de; CARVALHO, H. W. L. de; OLIVEIRA, L. R. de. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos estados de Pernambuco e Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 2, p. 47-58, 2002.

TIMM, N. S.; RAMOS, A. H.; FERREIRA, C. D.; BIDUSKI, B.; EICHOLZ, E. D.; OLIVEIRA, M. Effects of drying temperature and genotype on morphology and technological, thermal, and pasting properties of corn starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, p. 354–364, 2020.

TORRES, M. Sorgo tem crescimento como alternativa para produção de grãos com segurança. **Embrapa**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73414945/sorgo-tem-crescimento-como-alternativa-para-producao-de-graos-com-seguranca>. Acesso em: 29 junho 2024.

TROYER, A. F.; WELLIN, E. J. Heterosis Decreasing in Hybrids: Yield Test Inbreds. **Crop science**, VOL. 49, November–December. 2009.

VALDES, C.; HJORT, K.; & SEELEY, R. (2016). Brazil's Agricultural Land Use and Trade: Effects of Changes in Oil Prices and Ethanol Demand. *AgrEcon Search - Search in Agricultural & Applied Economics*.

VENKATESWARAN, K.; ELANGO VAN, M.; SIVARAJ, N. Origin, domestication and diffusion of Sorghum bicolor. In: ARUNA, C.; VISARADA, K. B. R. S.; VENKATESH BHAT, B.; TONAPI, V. A. **Breeding sorghum for diverse end uses**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. p. 15-31.

WINCHELL, F.; BRASS, M.; MANZO, A.; BELDADOS, A.; PERNA, V.; MURPHY, C.; STEVENS, C.; FULLER, D.Q. On the origins and dissemination of domesticated sorghum and pearl millet across Africa and into India: a view from the Butana Group of the Far Eastern Sahel. **African Archaeological Review**, v. 35, p. 483-505, 2018.