

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO CARLOS ALBERTO
REYES MALDONADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO
DE PLANTAS**

Vera Lúcia Simões André

**Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo biomassa
cultivados em distintas regiões do estado de Mato Grosso**

**SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
FEVEREIRO – 2021**

Vera Lúcia Simões André

**Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo biomassa
cultivados em distintas regiões do estado de Mato Grosso**

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, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Isane Vera Karsburg

**SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
FEVEREIRO – 2021**

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

A553d ANDRÉ, Vera Lúcia Simões.

Desempenho Agronômico de Genótipos de Sorgo Biomassa Cultivados em Distintas Regiões do Estado de Mato Grosso / Vera Lúcia Simões André – Alta Floresta/Cáceres/Tangará da Serra, 2021.
41 f.; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado Acadêmico) Genética e Melhoramento de Plantas, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Multicampi, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Dessaime Tardin.

Coorientadora: Profa. Dra. Isane Vera Karsburg.

1. *Sorghum* Bicolor. 2. Melhoramento Genético. 3. Energia Renovável. 4. Biocombustível. 5. Interação G x A. I. Vera Lúcia Simões André. II. Desempenho Agronômico de Genótipos de Sorgo Biomassa Cultivados em Distintas Regiões do Estado de Mato Grosso.

CDU 633.174

Ficha catalográfica confeccionada pelo bibliotecário Walter Clayton de Oliveira – CRB1 2049.

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA
CULTIVADOS EM DISTINTAS REGIÕES DO ESTADO DE MATO GROSSO**

Vera Lúcia Simões André

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 a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 02 de fevereiro de 2021.

Comissão Examinadora



Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin
Orientador - Embrapa Milho e Sorgo



Profa. Dra. Isane Vera Karsburg
Coorientadora – UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso
Carlos Alberto Reyes Maldonado



Prof. Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella
Embrapa Milho e Sorgo

A minha querida mãe Ilma Simões dos Reis, que ao longo desta caminhada foi acolhida nos braços de Deus; as minhas filhas Helen Milene Simões Monteiro e Ana Clara Simões Monteiro; a minha “prima-irmã” Miriam Aparecida dos Reis Cerqueira; a todos os meus familiares e amigos por todo apoio e incentivo.

Assim, dedico.

“Para os dias bons, gratidão.
Para os dias difíceis, fé.
Para os dias de saudade, tempo.
Para todos os dias, coragem.”

(Chico Xavier)

AGRADECIMENTO

Dedico este trabalho primeiramente a Este ser superior, criador de todas as coisas do Universo, Deus, a seus anjos intercessores e a Nossa Senhora Aparecida, por terem me fortalecido, sido meu refúgio nos momentos mais difíceis desta caminhada, me enchido em suas plenitudes de coragem e fé.

Agradeço a minha querida mãe Ilma Simões dos Reis que se encontra acolhida aos braços de Deus, as minhas filhas Helen Milene Simões Monteiro, Ana Clara Simões Monteiro, a minha prima-irmã Miriam Aparecida dos Reis Cerqueira, a minha família, à família de minhas filhas, ao meu ex-marido Reginaldo César Monteiro, a minha querida amiga Leila Pereira Neves Ramos, uma das minhas maiores incentivadoras.

Aos amigos que conquistei ao longo desta caminhada: Cyntia, Anne, Leonícia, Joelson, Eliane, Cristina, Denise, Jéssica, e outros, à família Ceja Ariosto da Riva, extinta neste ano de 2021.

Ao meu orientador Dr. Flávio Dessaune Tardin e ao Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella, pela oportunidade de participar deste grande projeto confiando a mim parte de seus resultados para redação de minha dissertação.

Ao professor Dr. Marco Antônio Aparecido Barelli pela colaboração com o compartilhamento de dados cedidos do experimento executado em Cáceres-MT.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (Fapemat), ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pelos recursos financeiros aportados nesta pesquisa.

A minha coorientadora Dra. Isane Vera Karsburg que me encorajou, com palavras de incentivo, a me inscrever no mestrado.

Agradeço a Embrapa Agrossilvipastoril Sinop-MT e a Embrapa Milho e Sorgo, pela oportunidade de estágio.

Aos meus amigos e amigas (Vanessa, Marion, Gerlando Barros, Anderson Savedra, Delma Dourado, Dilvandima Dourado, Sueli, Tássia, Bruna, Lucilene, Denise Favaro) que colaboraram para a conquista desta qualificação sempre me apoiando com palavras de incentivo e orações para a conclusão deste mestrado.

Aos demais amigos do Laboratório de Citogenética do *Campus* da UNEMAT de Alta Floresta–MT, mestrandos e doutorandos Embrapa Agrossilvipastoril Sinop-MT.

À Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) Carlos Alberto Reyes Maldonado, pela oportunidade para a realização deste trabalho e obtenção do título de Mestre.

Aos Professores pelo compartilhamento de seus conhecimentos durante as disciplinas ministradas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas (PGMP).

Muito obrigada! Muita luz para vocês!

BIOGRAFIA

Vera Lúcia Simões André, filha de Francisco André Filho e Ilma Simões dos Reis, nasceu dia 26 de junho de 1975, na cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Concluiu o ensino médio na Escola Estadual Vitória Furlani da Riva, em Alta Floresta - MT, em 1994 e o curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas em outubro de 2016, pela Universidade Estadual de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado (UNEMAT), *campus* Universitário de Alta Floresta - MT. Após a graduação, foi voluntária no Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais, desenvolvendo trabalhos de genotoxicidade, viabilidade polínica de diversas espécies vegetais. Dando início ao Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas pela UNEMAT, *campus* de Alta Floresta - MT, em fevereiro de 2019, na linha de pesquisa de Melhoramento de Plantas, sob a orientação do Professor Dr. Flávio Dessaune Tardin, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2021.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	vii
BIOGRAFIA	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A origem do sorgo e sua domesticação	4
2.2 O sorgo no Brasil	4
2.3 A classificação botânica e tipos de sorgo	5
2.4 A importância do sorgo biomassa como fonte energia	7
2.5 O melhoramento genético do sorgo biomassa	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Local e condução do experimento	11
3.2 Genótipos e características avaliadas	11
3.3 Delineamento experimental e análises estatísticas	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 CONCLUSÕES	27
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

ANDRÉ, VERA LÚCIA SIMÕES. Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo biomassa cultivados em distintas regiões do estado de Mato Grosso. Orientador: Flávio Dessaune Tardin; Conselheira: Isane Vera Karsburg

Os crescentes problemas gerados pelo alto preço da energia, sua escassez, a necessidade de redução da poluição e o crescimento populacional, apontam para a necessidade de fontes de energias renováveis. Semelhante ao eucalipto, busca-se espécies vegetais cuja qualidade e produção de biomassa sejam passíveis de uso para cogeração de energia. Nesse contexto, a cultura do sorgo biomassa vem sendo estudada como uma alternativa, pois possui uma elevada produção de biomassa passível de uso para cogeração de energia. Entretanto, seu cultivo depende de existência de cultivares adaptadas às condições da região de interesse. Esta pesquisa objetivou identificar cultivares adaptados ao cultivo, passíveis de recomendação de uso por agricultores do estado de Mato Grosso. Para tanto, vinte e cinco genótipos de sorgo – sendo dois híbridos comerciais forrageiros (BRS 658 e Volumax), dois híbridos comerciais biomassa (BRS 716 e AGRI002-E) e outros 21 genótipos experimentais desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo (201934B001, 201934B002, 201934B003, 201934B004, 201934B005, 201934B006, 201934B007, 201934B008, 201934B009, 201934B010, 201934B011, 201934B012, 201934B013, 201934B014, 201934B015, 201934B016, 201934B017, 201934B018, 201934B019, 201934B020, 201934B021) – foram avaliados na Safra 2019/20 nos municípios de Cáceres, Nova Xavantina e Sinop, considerando-se as seguintes características morfoagronômicas: altura média de plantas (ALT), produção de massa verde (PMV), produção de massa seca (PMS) e florescimento (FLOR). Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta dos ambientes e, posteriormente, para as diferentes características, os genótipos foram agrupados pelo método proposto por Scott-Knott ($P < 0,05$). Para PMV, PMS e ALT, características que demonstraram significância da interação genótipos x ambientes (GxA), avaliaram-se as estabilidades dos genótipos pelo método de Wricke (1965). Os híbridos de sorgo biomassa 201934B002 e 201934B009 se destacaram, superando os híbridos comerciais de sorgo biomassa e de sorgo silageiro, sendo os mais indicados para cultivo nos ambientes avaliados para cogeração de energia, pois demonstraram altas produtividades médias de massa verde ($PMV = 95 \text{ t ha}^{-1}$) e de massa seca ($PMS = 38 \text{ t ha}^{-1}$), além de alta estabilidade fenotípica para essas características nos diferentes locais de avaliação.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; melhoramento genético; energia renovável; biocombustível; interação G x A.

ABSTRACT

ANDRÉ, VERA LÚCIA SIMÕES; Agronomic performance of sorghum biomass genotypes grown in different regions of the state of Mato Grosso. Advisor: Prof. Dr. Flávio Dessaune Tardin; Counselor: Profa. Dra. Isane Vera Karsburg.

The growing problems generated by the high price of energy, its scarcity, pollution, population growth, point to the need for renewable energy sources such as eucalyptus that is already used, as cultivars that use biomass, in this contest the biomass sorghum. It has been studied as an alternative culture, as it has a high production of biomass that can be used both for energy cogeneration. However, its cultivation depends on the existence of cultivars adapted to the cultivation conditions of the region of interest. The main objective of the research was to identify cultivars adapted to cultivation, which could be recommended for use by farmers in this region. For this purpose, 25 sorghum hybrids, four are commercial hybrids, of which two are commercial sorghum types (BRS 658 and Volumax) and two are commercial biomass types (BRS 716 and AGRI002-E) and the other 21 sorghum hybrids. experimental biomass (201934B001, 201934B001, 201934B002, 201934B003, 201934B004, 201934B005, 201934B006, 201934B007, 201934B008, 201934B009, 201934B010, 201934B011, 201934B012, 201934B013, 201934, 2019, 2019, 2019B34, 2019 Corn and Sorghum were evaluated in the 2019/20 harvest in the municipalities of Cáceres, Nova Xavantina and Sinop. Evaluating the following morpho-agronomic characteristics such as: average plant height (ALT), green mass production (PMV), dry mass production (PMS) and flowering (FLOWER). The data were subjected to joint analysis of variance of the environments and, subsequently, for the different characteristics, the genotypes were grouped by the method proposed by Scott-Knott ($P < 0.05$). For PMV, PMS and ALT, characteristics that demonstrated significance of the genotype x environment (GxA) interaction, the genotype stabilities were evaluated by the method of Wricke (1965). In this experiment the experimental biomass sorghum hybrids 2 (201934B002) and 9 (201934B009) stood out, surpassing the commercial hybrids of biomass sorghum and silage sorghum in stability being the most suitable for cultivation in the evaluated environments, either for energy cogeneration, as they demonstrated high average productivities of green mass (PMV = 95 t ha⁻¹) and dry mass (PMS = 38 t ha⁻¹), in addition to high phenotypic stability for these characteristics in the different evaluation sites.

Keywords: Sorghum bicolor; genetical enhancement; renewable energy; biofuel; GxA interaction.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há necessidade de buscar novas fontes de energia, em face do seu alto custo, dos problemas decorrentes da escassez mundial de energia, da poluição ambiental e do desenvolvimento acelerado da indústria moderna nos países desenvolvidos, cuja necessidade energética é suprida por materiais importados, como os derivados do petróleo, os gases naturais, o óleo mineral, urânio, etanol, entre outros produtos (KAMRAN et al. 2020). Tendo em vista esta problemática, há, então, incentivos de programas de desenvolvimento de fontes renováveis de energia, como vem sendo feito pelo governo brasileiro, a exemplo dos programas de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA), e do programa de incentivos a energias renováveis (PIER) (LIMA et al., 2015).

Considerando o balanço energético nacional (BEN), verificou-se uma elevada participação, de 39,4%, das fontes renováveis no Brasil, se comparado com outros países (variação de 43,5% a 14%). Como exemplo, em 2014, destacou-se a cultura do eucalipto (CASTRO, 2014; Empresa de Pesquisa Energética, 2021).

Então, a energia oriunda da biomassa se insere perfeitamente dentro da abordagem relacionada às fontes de energia renovável, ou seja, sendo uma das fontes alternativas de energia, proveniente da biomassa lignocelulósica atualmente muito pesquisada, especialmente pelo seu potencial de produzir biocombustíveis, que equivalem a uma fração significativa do volume de petróleo extraído hoje no mundo. Os biocombustíveis são combustíveis obtidos a partir da biomassa lignocelulósica por meio de diferentes processos bioquímicos para produção do bioetanol, produtos químicos, biogás e biofertilizantes (EICHLER et al., 2015).

Alternativa também muito utilizada, o eucalipto, cuja madeira é usada em grande escala atualmente, participa da matriz energética mundial, variando de intensidade conforme o desenvolvimento do país, a disponibilidade das florestas e a competição econômica com outras fontes de energia, e apresenta vantagens ambientais e sociais (SANTIAGO, 2013;Silva 2020).

No estado de Mato Grosso, a demanda energética também é crescente, devido ao crescimento do agronegócio e estabelecimento de grandes indústrias/usinas na região, demandantes além de energia elétrica, por muita energia térmica. Com o objetivo de suprir a necessidade por essa forma de energia, busca-se, então, outras fontes renováveis de energia térmica, além do eucalipto.

Neste cenário, o sorgo biomassa, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, vem se apresentando como uma alternativa viável e importante para elevar a capacidade de cogeração de energia do país (CASTRO, 2014; MAY et al., 2015; ALMEIDA, 2019).

O sorgo biomassa é uma cultura semeada na primavera, que coincide com o período chuvoso, e a colheita é realizada na entressafra da cana-de-açúcar, quando não se tem matéria-prima para a produção de energia, reduzindo, assim, o período de ociosidade das termelétricas e gerando mais renda. É uma cultura tolerante ao déficit hídrico; propagada por semente; com todo o seu manejo mecanizável desde o plantio até a colheita; ciclo curto, de cinco a seis meses; potencial produtivo médio de matéria seca de 30 a 40 t.ha⁻¹, por ciclo; além de ser uma planta C4, ou seja, possuir alta taxa fotossintética (PARRELLA, 2011)

Trabalhos científicos publicados com sorgo biomassa em Mato Grosso são escassos, necessitando de mais estudos para confirmar sua viabilidade de uso. Estudos estes, tanto no que se refere a uso industrial, como principalmente, para desenvolvimento e identificação de genótipos com elevada capacidade produtivas e passíveis de cultivo nas suas diferentes regiões, que abrangem biomas como o Cerrado, Amazônicos e Pantanal, ou seja, de grande diversidade ambiental.

Assim, fica evidente a importância do melhoramento genético, tanto para o desenvolvimento de genótipos, quanto pelos usam de suas metodologias que permitem avaliar seus comportamentos produtivos nos cultivos em diferentes locais/condições, de forma a entender sobre a existência ou não de interação entre genótipos e ambientes, para que se consiga selecionar genótipos produtivos e estáveis que permita uma recomendação segura de cultivo pelos produtores.

Dentre os programas de melhoramento, a Embrapa Milho e Sorgo possui ações de pesquisa com sorgo biomassa no estado de Mato Grosso, tanto com recursos próprios (projetos SEG – Sistema Embrapa de Gestão), como financiados por outras instituições, podendo-se citar: o projeto regional financiado pela FAPEMAT/CNPq intitulado “Seleção de Cultivares de Sorgo Biomassa e Sacarino e Estabelecimento de Sistemas Agrícolas Visando Produção de Energia no Estado de Mato Grosso” (Processo FAPEMAT nº 571329/2014), sob liderança do pesquisador Dr. Flávio Dessaune Tardin; e ações do projeto de cunho nacional intitulado “sorgo-energia (sacarino e biomassa lignocelulósica), como cultura complementar à cana-de-açúcar: desenvolvimento de híbridos (para etanol 1g, 2g e cogeração) via

melhoramento convencional”, financiado pelo BNDES, sob liderança do Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella.

Diante do exposto, foi utilizada parte dos resultados de atividades de pesquisa dos projetos supracitados, referentes a ensaios de competição de vinte e um híbridos de sorgo biomassa experimentais da Embrapa, dois híbridos de sorgo biomassa comerciais e dois híbridos de sorgo silageiro comerciais, em três diferentes locais do estado de Mato Grosso (Sinop, Cáceres e Nova Xavantina) para redação desta dissertação. O objetivo foi realizar um estudo da interação G X A e de estabilidade de genótipos de sorgo biomassa, no intuito de selecionar genótipos passíveis de recomendação de plantio no estado de Mato Grosso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A origem do sorgo e sua domesticação

O sorgo é uma cultura que teve origem na África e em parte da Ásia. Embora seja uma cultura muito antiga, sua expansão ocorreu somente no final do século XIX em várias regiões do mundo (EMATER, 2012).

A África oriental parece ser o centro de origem dos sorgos cultivados nas formas que se conhecem atualmente. No Noroeste da África também se constatou cultivares de sorgo, mas permanece a tese que os sorgos tiveram origem na Abissínia, atual Etiópia, centro de dispersão de muitas espécies de interesse econômico, como o milheto (*Pennisetum glaucum*) (DOGGETT, 1970). De acordo com outros apontamentos, a prática de domesticação de cereais teve início no Egito, em torno de 3.000 a.C. (DOGGETT, 1965).

Snowden (1936) fornece rica informação sobre essa discussão. Extensas rotas terrestres e marítimas utilizadas pelas correntes migratórias disseminaram o sorgo para além das fronteiras do Nordeste da África, seu provável centro de origem, para lugares tão distantes como a Índia e a China.

Nas Américas, o sorgo teve sua entrada pelo Caribe na América Central e o início do seu cultivo nos séculos XVII e XVIII, durante a entrada dos escravos africanos, trazendo as sementes de sorgo que foram introduzidas no continente americano (LIMA, 2020). A partir da década de 1940 surgiram os chamados *combine types*, cultivares de porte baixo adaptados à colheita mecânica, quando a cultura teve significativo incremento em várias regiões do Oeste dos Estados Unidos. Maiores progressos, no entanto, estavam por vir, graças aos trabalhos de um grupo de cientistas pioneiros que viabilizaram a produção de sementes híbridas de sorgo no início dos anos 1960 (RIBAS, 2003).

2.2 O sorgo no Brasil

De acordo com Duarte (2003), apesar de o sorgo ter sido apresentado no Brasil como rústico, por ser originário de regiões áridas e semiáridas, a cultura se apresentou com dificuldades de estabilização na região Nordeste do país porque não possuía resistência à seca prolongada da região como se pensava, dependendo também de boas práticas de manejo para atingir melhores índices produtivos.

Provavelmente, a espécie chegou ao Brasil da mesma forma como chegou na América do Norte e Central: por meio dos escravos africanos, que utilizavam plantas de sorgo como camas nos navios negreiros. Nomes como "Milho d'Angola" ou "Milho da Guiné", encontrados na literatura e até hoje no vocabulário do nordestino do sertão, sinalizam que possivelmente as primeiras sementes de sorgo trazidas ao Brasil entraram pelo Nordeste, no período de intenso tráfico de escravos, que vinham para trabalhar na atividade açucareira. Já no sul, houve a introdução do sorgo, com a colonização italiana dos vales do rio Uruguai e Pelotas. Ainda, há relatos que em meados de 1920 e 1930, feirantes da feira de Caruaru, Pernambuco, faziam comércio da variedade Milho d' Angola ou Vira Cacho (MATTOS, 2003; 2013; TABOSA, 2013).

Na segunda década do século XX até fins dos anos 60, a cultura foi reintroduzida. Nesse período o Rio Grande do Sul tornou-se o maior produtor de grãos de sorgo do país. Somente no município de Bagé, na fronteira com o Uruguai, chegaram a plantar entre 20 e 25 mil hectares de sorgo, chegando a São Paulo, expandindo-se para os outros estados centrais, pela ação dos institutos de pesquisa públicos e universidades, sendo encontrados relatos de pesquisas com sorgo no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), no Instituto Pernambucano de Pesquisas Agropecuárias (IPA), no Instituto de Pesquisas Agropecuárias, do Rio Grande do Sul e em algumas escolas de agronomia, como a ESALQ de Piracicaba, a Escola Superior de Agricultura de Lavras, a Escola Superior de Agronomia de Viçosa, Escola de Agronomia de Pernambuco e outras (RIBAS, 2000).

2.3 A classificação botânica e tipos de sorgo

O Sorgo é uma gramínea anual, da subfamília Panicoidae, ordem Poales, família *Poaceae*, gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench (DURÃES, 2014). Sendo uma planta de metabolismo C4, possui elevadas taxas fotossintéticas e muitos de seus genótipos são sensíveis ao fotoperiodismo, florescendo apenas em dias curtos. É uma planta monóica que apresenta flores perfeitas, sendo basicamente autógama, geralmente apresenta pequena depressão por endogamia quando se utiliza métodos de melhoramento para obtenção de linhas puras (ROSS, 1973, FERNANDES, 2013). Como também é tolerante a falta de água e ao excesso de umidade do solo.

Quanto aos estádios fenológicos para a cultura do sorgo, eles são divididos em três principais fases. A primeira, denominada fase vegetativa, refere-se ao crescimento da cultura (FC-1), indo do plantio até o surgimento da panícula. A Fase II (FC-2), fase do florescimento, inicia-se com a ocorrência da diferenciação floral no meristema apical e persiste até a panícula estar completamente formada e suas flores aptas a polinização. Momento este em que se inicia a Fase III, ou fase de enchimento de grãos (FC-3), que consiste desde a polinização, propriamente dita, até a maturação fisiológica da semente. Ressalva-se que o intervalo de tempo de cada fase depende da cultivar e das condições de clima do local (PIASSA, 2016).

A diversidade genética e fenotípica no sorgo é bastante ampla, classificando-se os genótipos em diferentes tipos, de acordo com uso e características fenotípicas. Rodrigues e Pereira Filho (2015) informam que existem cinco tipos de sorgos cultivados no Brasil atualmente, classificando-os em:

Sorgo granífero: destacam-se os grãos e após a colheita o que resta pode ser utilizado como feno destinado a pastejo.

Sorgo forrageiro: tem um porte alto, superior a dois metros, sua maior característica é a elevada produção de forragem.

Sorgo sacarino: possui poucos grãos, porte alto, mas uma elevada produção de biomassa, muito rico em açúcares, sendo apropriado para silagem, açúcar, destinada à produção de energia. O cultivar de sorgo sacarino pode também ser utilizada como forrageira.

Sorgo vassoura: sua característica principal é a panícula na forma de vassoura, e por isso é utilizado na fabricação de vassouras.

Sorgo biomassa: apresenta altura elevada e uma maior quantidade de massa verde quando comparada às demais variedades. Característica esta que se deve à sua sensibilidade ao fotoperíodo, aumentando seu ciclo, em plantios de verão, e, conseqüentemente elevando sua produção por hectare/ciclo em relação às plantas insensíveis ao mesmo (PARRELLA et al., 2011).

O florescimento, ou a diferenciação floral do sorgo, é afetado principalmente pelo fotoperíodo e pela temperatura. O estágio mais crítico para a planta, em que se deve evitar qualquer tipo de estresse biótico ou abiótico, é durante o florescimento, que dura de duas a três semanas, sendo que em condições normais a diferenciação da gema floral inicia-se em geral de 30 a 40 dias após a germinação e pode variar

de 19 a mais de 70 dias. Em climas quentes, o florescimento, em geral, ocorre com 55 a 70 dias após a germinação e pode variar de 30 a mais de 100 dias (MAGALHÃES et al., 2009).

2.4 A importância do sorgo biomassa como fonte energia

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), pela abundância de grandes cursos d'água espalhados pelo território brasileiro, a fonte hidroelétrica está no topo da matriz elétrica do país. Porém, mudanças cada vez mais acentuadas no clima têm afetado sobremaneira a disponibilidade de água, principalmente nos períodos de inverno, quando a maioria dos estados apresenta escassez de chuva. Portanto fontes alternativas de energia, como a biomassa, desempenham papel de importância para manter o abastecimento energético da população, por meio de sua queima em termoelétricas e conversão em eletricidade. Segundo o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2020), houve um incremento de 7,2 % do uso de biomassas para geração de energia do ano de 2015 para o ano de 2016, sendo considerada a segunda maior fonte de energia nesse último ano, totalizando 25,8% da Oferta Interna de Energia (OIE).

A utilização da biomassa como matéria-prima para fins energéticos pode ser feita em biorrefinarias segundo quatro plataformas básicas: combustão direta para a produção de energia térmica (vapor) e elétrica (cogeração); hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemicelulose) para obtenção de açúcares fermentáveis e conseguinte produção de combustíveis líquidos como o etanol de segunda geração; gaseificação para produção de gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio) ou geração de biogás; pirólise para produção de bio-óleo ou carvão (NAIK et al., 2017). Diante do exposto, o aproveitamento da biomassa do sorgo para geração de energia pode ser feito por meio de combustão direta, cogeração (produção combinada de energia térmica e mecânica), processos termoquímicos específicos (gaseificação, hidrólise, pirólise, craqueamento, liquefação e transesterificação) e/ou processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação) (MARAFON et al., 2016).

2.5 O melhoramento genético do sorgo biomassa

No Brasil, existem vários grupos ligados ao melhoramento genético do sorgo que ao longo dos anos vêm mudando o perfil dos materiais comercializados e utilizados principalmente na alimentação animal, porém, mais recentemente, o foco destes programas tem crescido para obtenção de genótipos visando produção de etanol e energia (sorgo sacarino e sorgo biomassa) e alimentação humana (sorgo granífero). Os programas de melhoramentos genéticos vêm buscando selecionar materiais que melhor representem ganhos quanto ao valor nutritivo e econômico. Para tanto, os diferentes genótipos desenvolvidos (variedades e híbridos) são submetidos a várias etapas de avaliação até a seleção da cultivar a ser comercializada para cada finalidade de uso.

Nos programas de desenvolvimento de variedades do sorgo, fundamentado pelo cruzamento entre genótipos de interesse e sucessivos ciclos de autofecundação e seleção,, possibilitou o estabelecimento da cultura como alternativa viável em regiões importantes, sendo também a base para obtenção de linhagens nos programas de desenvolvimento de híbridos (ROSS, 1973; SMITH & FREDERIKSEN, 2005; PARRELLA, 2011). O fenômeno da heterose foi observado em sorgo em 1927, porém sua exploração comercial foi possível a partir de 1954, com a descoberta do sistema de macho-esterilidade genético-citoplasmática (QUINBY, 1974). Segundo Murty et al. (1994) a esterilidade masculina genético-citoplasmática do sorgo é causada por uma interação de fatores indutores de esterilidade no citoplasma com fatores genéticos no núcleo, e resulta da combinação de citoplasma Milo e genes Kafir encontrados no núcleo. Assim, 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 aparecimento dos tipos macho-estéreis em sorgo possibilitou a produção econômica de sementes híbridas (BAI, 1982). Os híbridos de sorgo são produzidos pelo cruzamento entre linhagem macho-estéril e uma linhagem fértil polinizadora.

De acordo com Souza (2011), a produção de genótipos que atendam às características tecnológicas demandadas pelo mercado é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético vegetal. Almeja-se que as cultivares

sejam estáveis quanto às variações ambientais e responsivas às condições de ambientes favoráveis.

A fim de atender à crescente demanda por sementes, os programas de melhoramento de sorgo baseiam-se no desenvolvimento e produção de variedades (linhagens puras) e pela hibridação destas na confecção de híbridos, buscando os benefícios da heterose ou vigor híbrido (PARRELLA e PARRELLA, 2011). Mas a busca através de programas de pesquisas por desenvolvimento de novos genótipos experimentais e seleção daqueles com características superiores, passíveis de recomendação de cultivo nas diferentes regiões brasileiras é contínuo, característica esta do melhoramento, ou seja, fixação de alelos favoráveis e ganhos a cada ciclo de seleção.

Durães (2011) destaca que devido ao seu alto potencial na geração de energia renovável, bem como à busca por matéria-prima alternativa para a produção de etanol, a Embrapa Milho e Sorgo reiniciou, a partir de 2008, o programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino e iniciou um programa de desenvolvimento de sorgo biomassa, inicialmente sensíveis ao fotoperíodo que, por isso, quando cultivados no verão nas condições brasileiras, aumentam seu ciclo e produzem elevada quantidade de biomassa.

Existe, evidentemente, diferenças entre estes genótipos, quanto ao ciclo, porte, produção de biomassa e respostas diferenciadas ao cultivo em diferentes ambientes. Quanto ao florescimento, Damasceno et al. (2013); Parrella et al. (2011); e Pereira et al. (2012), avaliando características morfoagronômicas de híbridos com finalidade de produção de biomassa, verificaram, num primeiro ano de plantio, dias de florescimento variando de 61 a 88 dias entre os genótipos insensíveis ao fotoperíodo, enquanto os genótipos sensíveis ao fotoperíodo, plantados também no final do mês de novembro, iniciaram florescimento 102 dias após o plantio (DAP), demonstrando a diferença entre ciclos de materiais sensíveis e insensíveis ao fotoperiodismo em cultivos de verão. Relataram, ainda, que os híbridos de sorgo forrageiros BRS 655 e Volumax apresentam ciclos curtos quando comparados a genótipos do tipo biomassas.

A interação Genótipos x Ambientes caracterizada como o desempenho inconsistente de distintos genótipos quando cultivados em diferentes locais/ambientes constitui-se um dos maiores problemas dos programas de

melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou recomendação de cultivares (BORÉM, 2001; DELACY et al., 2010), sendo necessário considerar a interação genótipos por ambientes para selecionar cultivares superiores (BACH et al., 2012).

No estado de Mato Grosso, no caso do sorgo biomassa, poucos são os estudos de interação genótipos por ambientes e de adaptabilidade e estabilidade, considerando suas distintas regiões de cultivo, tornando-se, assim, um dos maiores problemas na expansão do cultivo deste tipo de sorgo na região. Então, semelhante a demais culturas, estudos do comportamento produtivo de sorgos biomassas no estado, de forma a permitir a identificação de cultivares mais estáveis e produtivos, se tornam imprescindíveis para segurança de sua recomendação de cultivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e condução do experimento

Um dos experimentos foi desenvolvido na área experimental do laboratório de recursos genéticos e biotecnologia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Campus Cáceres, localizada nas coordenadas 16°07'66" Sul e 57°65'29" Oeste, a 126 m de altitude (IBGE, 2016). Um segundo experimento foi implantado em parceria com a UNEMAT – Campus Nova Xavantina, em fazenda pertencente ao município de Nova Xavantina, localizado a 14°40'24" Sul e 52°21'11" Oeste, estando a uma altitude de 275 metros. E o terceiro experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, Mato Grosso, 11°51' Sul, longitude 55°35' Oeste, numa altitude média de 384 metros.

As sementeiras dos experimentos ocorreram nas seguintes datas: Cáceres-MT, em 23/11/19; Nova Xavantina-MT, em 14/12/19; e Sinop-MT, em 20/11/19. Já as colheitas foram: Cáceres-MT, em 21/05/20; Nova Xavantina-MT, em 03/04/20 (sorgos silageiro) e 28/04/20 (sorgos biomassas); e em Sinop-MT, os genótipos foram colhidos em função do seu ciclo, sendo realizada aproximadamente aos 50 dias após seu florescimento.

3.2 Genótipos e características avaliadas

Avaliaram-se vinte e cinco híbridos experimentais comerciais da Embrapa, sendo destes, quatro híbridos comerciais – dois do tipo silageiro (BRS 658 e Volumax) e dois do tipo biomassa (BRS 716 e AGRI002-E). Os outros vinte e um, são genótipos experimentais de sorgo biomassa desenvolvidos e selecionados pelo programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo (Tabela 1).

Para os 25 genótipos de sorgo foram avaliadas as seguintes características nas parcelas experimentais:

Florescimento (FLOR) – número de dias desde o plantio até a data em que 50% das plantas das parcelas encontravam-se com as flores do terço superior da panícula liberando pólen;

Altura de planta (AP) – altura média, em metros, de seis plantas competitivas, medidas do nível do solo até o ápice da panícula, no dia da colheita;

Tabela 1. Genótipos de sorgo avaliados em três municípios do Mato Grosso (Cáceres, Nova Xavantina e Sinop) com respectivas codificações, classificação e procedências

Código	Genótipo	Classificação	Procedência
1	201934B001	Biomassa	Experimental Embrapa
2	201934B002	Biomassa	Experimental Embrapa
3	201934B003	Biomassa	Experimental Embrapa
4	201934B004	Biomassa	Experimental Embrapa
5	201934B005	Biomassa	Experimental Embrapa
6	201934B006	Biomassa	Experimental Embrapa
7	201934B007	Biomassa	Experimental Embrapa
8	201934B008	Biomassa	Experimental Embrapa
9	201934B009	Biomassa	Experimental Embrapa
10	201934B010	Biomassa	Experimental Embrapa
11	201934B011	Biomassa	Experimental Embrapa
12	201934B012	Biomassa	Experimental Embrapa
13	201934B013	Biomassa	Experimental Embrapa
14	201934B014	Biomassa	Experimental Embrapa
15	201934B015	Biomassa	Experimental Embrapa
16	201934B016	Biomassa	Experimental Embrapa
17	201934B017	Biomassa	Experimental Embrapa
18	201934B018	Biomassa	Experimental Embrapa
19	201934B019	Biomassa	Experimental Embrapa
20	201934B020	Biomassa	Experimental Embrapa
21	201934B021	Biomassa	Experimental Embrapa
22	BRS 716	Biomassa	Híbrido Comercial Embrapa
23	AGRI002E	Biomassa	Híbrido Comercial Agricom Seeds
24	BRS 658	Silageiro	Híbrido Comercial Embrapa
25	Volumax	Silageiro	Híbrido Comercial Agroceres

Produção de massa verde (PMV) – mensurada com auxílio de balança, quando da colheita das plantas da parcela útil, sendo considerada com a massa total da parte aérea de todas as plantas da parcela útil, cortadas a 10 cm do nível do solo. Os valores foram convertidos para toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$).

Produção de massa seca (PMS) – determinada após a obtenção da porcentagem de matéria seca das plantas no momento da colheita. Na colheita, amostras de aproximadamente 0,5 kg das plantas foram pesadas e levadas a estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 55 °C até peso constante, quando foram novamente pesadas e a razão entre a massa seca e a massa verde desta amostra

foi multiplicado pela PMV para obtenção do PMS. Os valores foram convertidos para toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$).

Com exceção do florescimento, o qual foi coletado apenas nos ambientes Cáceres e Sinop, as demais características foram obtidas em todos os três ambientes (locais) de avaliação.

3.3 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições. Em cada ambiente foi conduzido um experimento com os 25 genótipos de sorgo, onde as parcelas experimentais úteis foram constituídas de duas fileiras de 5m de comprimento, espaçadas em 0,70 m. No plantio, utilizou-se um volume de sementes necessário para se alcançar uma população inicial de 110.000 plantas ha^{-1} .

Os dados coletados para as diferentes características morfoagronômicas foram submetidos a uma análise de variância conjunta (ANOVA conjunta) dos experimentos, se considerando os três ambientes experimentais, com exceção da característica FLOR, a qual foi coletada e avaliada numa ANOVA conjunta para dois ambientes (Cáceres e Sinop).

O modelo genético-estatístico utilizado foi o $Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + e_{ijk}$, em que Y_{ijk} refere-se à observação da característica no k-ésimo bloco, avaliada dentro do j-ésimo ambiente no i-ésimo genótipo; μ é média geral; G_i é efeito do i-ésimo genótipo; A_j efeito é do j-ésimo ambiente; GA_{ij} sendo o efeito da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo ambiente; B/A_{jk} é o efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente; e e_{ijk} , o efeito do erro experimental associado à observação de ordem ijk . Com exceção do efeito de genótipos, considerado fixo, os demais efeitos foram considerados aleatórios.

De posse dos dados coletados, realizou-se para cada característica uma análise de variância por ambiente de cultivo e posteriormente análise de variância conjunta e as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott. A produtividade de massa verde (ou seca) foi utilizada para avaliação da estabilidade dos genótipos pelo método de Wricke (1965). Esta análise de Wricke (1965) decompõe a soma de quadrados da interação $G \times A$ na parte devido a genótipos isolados por meio da estatística denominada ecovalência (w_i), a fórmula para cálculo

é $w_i = \sum_{j=1}^a (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..})$, em que Y_{ij} é a média do genótipo i no ambiente j ; $\bar{Y}_{i.}$ é a média do genótipo i ; $\bar{Y}_{.j}$ é a média do ambiente j ; $\bar{Y}_{..}$ é a média geral.

O método da ecovalência proposto por Wricke (1965), com base em análise de variância, foi utilizado, em experimento com a cultura da soja, por Miranda (1999), Yokomizo (1999) e Prado et al. (2001). Esses autores afirmaram que o método se mostrou bastante prático para avaliar a estabilidade fenotípica. Entretanto, os dois primeiros autores verificaram que a seleção foi mais eficiente quando combinou a ecovalência com o desempenho médio dos genótipos avaliados.

As análises aqui realizadas visam a identificação dos genótipos experimentais de sorgo biomassa com atributos favoráveis passíveis de recomendação para cultivo na região de estudo no Mato Grosso. Para as características que demonstraram significância ($P < 0,05$) para a interação $G \times A$, no intuito de identificar os genótipos que menos contribuíram para essa interação, demonstrando assim maior estabilidade.

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

Tabela 2 – Esquema da análise de variância com as respectivas fontes de variação (FV); graus de liberdade (GL); quadrados médios (QM), esperanças de quadrados médios [E(QM)]; e estatística F, utilizadas na avaliação de experimentos com 25 genótipos de sorgo, cultivados em três localidades do Mato Grosso, na Safra 2019/20.

FV	GL	QM	E (QM) ^{1/}	F
Blocos/Ambientes	$(b - 1)a$	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_B^2$	
Ambiente (A)	$a - 1$	QMA	$\sigma^2 + g\sigma_B^2 + gb\sigma_A^2$	QMA/QMB
Genótipos (G)	$g - 1$	QMG	$\sigma^2 + \frac{bg}{g-1}\sigma_{GA}^2 + ab\phi_G$	QMG/QMGA
G x A	$(a - 1)(g - 1)$	QMGA	$\sigma^2 + \frac{bg}{g - 1}\sigma_{GA}^2$	QMGA/QMR
Resíduo	$(g - 1)(b - 1)a$	QMR	σ^2	
Total	$bga - 1$			

a = número de ambientes; b = número de blocos; g = número de genótipos

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 encontra-se o resultado da análise de variância (ANOVA) conjunta, realizada para os experimentos com sorgo em diferentes municípios (ambientes) de Mato Grosso. Com exceção da altura das plantas (ALT), as demais características mensuradas demonstraram existência de interação significativa entre o genótipo e o ambiente, sendo necessário, para estas, o desdobramento dos genótipos em cada ambiente e vice-versa, ou seja, os ambientes dentro de cada genótipo. Todos os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 3.

No caso da característica AP, observam-se nos resultados da ANOVA diferenças significativas tanto em relação a médias gerais dos ambientes ($p < 0,05$), quanto a médias gerais dos genótipos ($p < 0,01$), indicando, assim, uma variabilidade genética significativa entre os genótipos avaliados, possibilitando a seleção de genótipos de diferentes portes (Tabela 3). Ainda, por não ter ocorrido interação G x A, tal característica pode ser melhorada por meio de seleção de genótipos com porte de interesse, comuns aos três ambientes avaliados.

Quando se avaliam os resultados obtidos para os desdobramentos dos efeitos de genótipos dentro de ambientes (G/A), para as demais características cujas interações G x A foram significativas, observa-se comportamento semelhante para as diversas características, isto é, os efeitos de genótipos dentro de ambiente (G/A), demonstraram diferenças significativas entre os genótipos, em nível de 1% de probabilidade, dentro de cada ambiente de avaliação, para FLOR, PMV e PMS (Tabela 3).

Assim, constatou-se a existência de variabilidade genética entre estes genótipos de sorgo avaliados e a possibilidade de seleção daqueles de interesse. Entretanto, dependendo da complexidade da interação, muitas vezes o genótipo indicado para uma região pode não ser o mais indicado para outra.

Os genótipos responderam diferentemente às variações ambientais, com alterações no ranqueamento dos genótipos de um ambiente para outro (Cruz & Carneiro, 2004; Oliveira, 2015). A interação genótipo x ambiente tem grande importância para o melhoramento de plantas e, quando esta é considerada complexa, influencia na escolha e recomendação de genótipos para cultivo.

Tabela 3. Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios (QM) e graus de liberdade (GL) e estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para altura de plantas (AP), produção de massa verde (PMV), produção de massa seca (PMS) e florescimento (FLOR), de 25 genótipos de sorgo cultivados em diferentes ambientes de Mato Grosso, Safra 2019/20.

FV	GL	QM			QM	
		AP	PMV	PMS	GL	FLOR
BLOCOS/AMB	6	0,2034	272,6250	94,7991	4	10,5267
GENÓTIPOS (G)	24	4,0016**	2059,2665**	400,3749**	24	2107,7239**
AMBIENTES (A)	2	2,1415*	1012,5477 ^{ns}	1421,5717**	1	10567,2067**
GXA	48	0,1145 ^{ns}	366,0121**	70,7395*	24	45,8872**
G/A	72	-	930,4303**	180,6180**	48	1076,8055**
G/A1	24	-	909,3247**	251,8677**	24	1313,3866**
G/A2	24	-	1050,6965**	129,9619**	24	840,2244**
G/A3	24	-	831,2696**	160,0243**	-	-
A/G	50	-	391,8735**	124,7728**	25	466,7400**
A/G 1	2	-	878,7013*	132,0468 ^{ns}	1	840,1667**
A/G 2	2	-	112,1691 ^{ns}	89,3718 ^{ns}	1	522,6667**
A/G 3	2	-	605,9004 ^{ns}	53,1516 ^{ns}	1	368,1667**
A/G 4	2	-	312,2717 ^{ns}	298,8505**	1	416,6667**
A/G 5	2	-	579,9242 ^{ns}	141,4401*	1	620,1667**
A/G 6	2	-	365,5165 ^{ns}	6,9897 ^{ns}	1	600,0000**
A/G 7	2	-	454,6543 ^{ns}	3,6540 ^{ns}	1	522,6667**
A/G 8	2	-	290,6714 ^{ns}	56,0384 ^{ns}	1	580,1667**
A/G 9	2	-	199,8672 ^{ns}	154,0431*	1	308,1667**
A/G 10	2	-	18,8362 ^{ns}	195,2431*	1	337,5000**
A/G 11	2	-	827,0555*	28,9260 ^{ns}	1	368,1667**
A/G 12	2	-	421,3605 ^{ns}	54,6714 ^{ns}	1	337,5000**
A/G 13	2	-	250,6907 ^{ns}	61,4707 ^{ns}	1	160,1667**
A/G 14	2	-	456,8649 ^{ns}	3,0349 ^{ns}	1	433,5000**
A/G 15	2	-	280,7278 ^{ns}	40,2182 ^{ns}	1	560,6667**
A/G 16	2	-	14,9560 ^{ns}	161,9657*	1	640,6667**
A/G 17	2	-	1356,1848**	688,4636**	1	504,1667**
A/G 18	2	-	161,6568 ^{ns}	571,5331**	1	468,1667**
A/G 19	2	-	23,7568 ^{ns}	61,7213 ^{ns}	1	640,6667**
A/G 20	2	-	667,8998*	12,1680 ^{ns}	1	793,5000**
A/G 21	2	-	630,6191*	127,4459 ^{ns}	1	216,0000**
A/G 22	2	-	59,0011 ^{ns}	55,4795 ^{ns}	1	560,6667**
A/G 23	2	-	339,3289 ^{ns}	29,1379 ^{ns}	1	840,1667**
A/G 24	2	-	203,7538 ^{ns}	55,6376 ^{ns}	1	0,0000 ^{ns}
A/G 25	2	-	284,4694 ^{ns}	36,6170 ^{ns}	1	28,1667*
RESÍDUO	144	0,0830	205,9493	46,3358	96	4,6239
MÉDIA		4,88	72,55	29,12		128,91
CV(%)		5,91	19,78	23,37		1,67

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

Quando realizado os desdobramentos dos efeitos de ambientes dentro de cada genótipo (A/G), para as características que demonstraram interação G x A significativas (Tabela 3), se observaram a ocorrência de comportamentos diferenciados entre os genótipos. Dos vinte e cinco genótipos avaliados, a maioria destes não teve as médias de PMV alteradas em função do ambiente, com exceção dos híbridos experimentais de sorgo biomassa, 1 (201934B001), 11 (201934B011), 17 (201934B017), 20 (201934B020) e 21 (201934B021). Na presente pesquisa, as médias gerais para PMV observadas por ambiente foram de 68,6 t ha⁻¹ para Cáceres-MT, 75,8 t ha⁻¹ para Nova Xavantina e 73,20 t ha⁻¹ para Sinop-MT.

Em um experimento realizado no norte de Minas Gerais, encontrou-se uma ampla variabilidade para as características produção de massa verde de cultivares potenciais para lançamento e cultivares comerciais de sorgo do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, com resultados encontrados que variaram de 25,81 t ha⁻¹ a 71,05 t ha⁻¹, em produção de massa verde, e de 8,7 a 21,7 t ha⁻¹ para produção de massa seca. Resultados estes que demonstraram que o sorgo biomassa é uma cultura com elevado potencial de produção de biomassa verde, podendo superar as 80 t ha⁻¹, conforme mencionado pelos autores (SOUZA et al., 2011).

Tabela 4. Médias de características avaliadas em 25 genótipos de sorgo cultivados em três ambientes do Estado de Mato Grosso, na Safra 2019/20.

Genótipos	Altura (m)				PMV (t ha ⁻¹)						PMS (t ha ⁻¹)						Florescimento (Dias)				
	Cáceres	Nova			Cáceres	Nova X.			Cáceres	Nova			Cáceres	Sinop							
		X.	Sinop	Média		X.	Sinop	X.		Sinop	Sinop										
1	5,0	4,6	5,5	5,0	C	69,657	B a	85,185	B a	103,838	A a	36,481	A b	28,711	A a	41,911	A a	158,3	A a	134,7	B a
2	4,9	5,2	5,5	5,2	B	85,037	A a	91,111	A a	97,267	A a	43,129	A a	32,218	A a	37,976	A a	151,7	A b	133,0	B a
3	5,3	4,8	5,2	5,1	C	59,615	A b	76,296	A b	87,886	A a	28,702	A c	23,661	A a	32,021	A a	138,7	A e	123,0	B c
4	5,2	4,9	5,1	5,1	C	90,376	A a	80,741	A b	69,981	A b	45,264	A a	28,214	B a	27,750	B b	140,3	A e	123,7	B c
5	5,7	5,3	5,4	5,5	A	70,547	B a	92,963	A a	67,505	B b	39,799	A b	36,010	A a	26,473	B b	140,7	A e	120,3	B d
6	4,5	5,1	5,2	4,9	C	53,768	A b	75,556	A b	67,743	A b	28,015	A c	24,968	A a	26,329	A b	140,0	A e	120,0	B d
7	4,9	5,0	5,0	5,0	C	49,192	A b	73,704	A b	63,457	A b	26,248	A c	24,450	A a	24,241	A b	134,3	A f	115,7	B e
8	5,0	5,1	5,2	5,1	C	61,522	A b	75,556	A b	80,495	A a	31,549	A c	27,756	A a	22,926	A b	135,3	A f	115,7	B e
9	5,2	4,7	5,4	5,1	C	94,698	A a	103,704	A a	87,409	A a	45,506	A a	33,947	B a	32,389	B a	147,7	A c	133,3	B a
10	4,5	4,8	5,3	4,9	C	73,089	A a	69,630	A b	68,219	A b	37,167	A b	21,486	B a	26,040	B b	148,7	A c	133,7	B a
11	5,0	5,2	5,0	5,1	C	57,326	B b	90,370	A a	76,695	A a	33,266	A c	29,851	A a	27,067	A b	143,0	A d	127,3	B b
12	4,6	4,6	5,1	4,7	D	72,708	A a	94,074	A a	74,505	A a	36,303	A b	30,505	A a	27,976	A b	150,7	A b	135,7	B A
13	4,9	4,7	5,0	4,8	C	80,334	A a	86,667	A a	68,647	A b	35,718	A b	29,980	A a	26,785	A b	143,3	A d	133,0	B A
14	4,7	4,9	5,2	5,0	C	59,615	A b	83,704	A a	76,314	A a	26,185	A c	27,872	A a	27,977	A b	142,3	A d	125,3	B C
15	4,9	5,0	5,2	5,0	C	72,326	A a	88,889	A a	89,267	A a	35,095	A b	28,698	A a	34,983	A a	140,7	A e	121,3	B D
16	5,5	5,3	5,5	5,5	A	76,140	A a	71,852	A b	75,076	A a	38,337	A b	23,684	B a	30,037	B b	135,7	A f	115,0	B E
17	5,5	5,4	5,5	5,4	A	106,137	A a	71,111	B b	67,743	B b	52,866	A a	27,270	B a	26,028	B b	139,3	A e	121,0	B D
18	5,2	5,2	5,3	5,2	B	84,021	A a	74,074	A b	69,695	A b	48,798	A a	25,071	B a	24,716	B b	139,3	A e	121,7	B D
19	4,8	5,2	5,7	5,2	B	60,378	A b	56,296	A c	54,981	A c	30,481	A c	22,891	A a	22,383	A b	138,7	A e	118,0	B E
20	5,1	5,1	5,4	5,2	B	59,996	A b	74,815	A b	89,838	A a	28,460	A c	28,202	A a	31,812	A a	143,0	A d	120,0	B D
21	4,1	4,4	4,9	4,5	E	61,395	A b	54,815	A c	33,648	B c	23,897	A c	16,295	A b	10,925	A c	127,0	A g	115,0	B E
22	4,9	5,0	5,2	5,0	C	88,596	A a	97,037	A a	90,457	A a	39,112	A b	30,860	A a	37,085	A a	152,7	A b	133,3	B A
23	4,6	4,7	5,2	4,8	C	59,234	A b	73,333	A b	80,076	A a	28,702	A c	26,238	A a	32,428	A a	157,0	A a	133,3	B A
24	2,8	2,7	2,8	2,8	F	33,303	A b	25,556	A d	42,028	A c	15,889	A d	7,963	A b	14,846	A c	68,0	A i	68,0	A G
25	2,9	2,8	2,8	2,8	F	35,591	A b	28,889	A d	48,076	A c	16664	A d	9,684	A b	12,904	A c	76,3	A h	72,0	B F
Média	4,8	A 4,8	A 5,1	A 4,9		68,6		75,8		73,2		34,1		25,9		27,4		137,3		120,5	

^{1/} Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical constituem grupos estatisticamente homogêneos, pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

No intuito de identificar os genótipos detentores das características morfoagronômicas de maior interesse para o programa de melhoramento, as médias dos genótipos foram utilizado para agrupamento destes pelo método proposto por Scott-Knott ($P < 0,05$). Assim, são apresentadas na Tabela 4 as médias dos genótipos para as diferentes características avaliadas e o agrupamento de médias, tanto dentro dos ambientes, representado por letras minúsculas, quanto para médias entre ambientes, representadas por letras maiúsculas, dispostas em frente aos respectivos valores médios apresentados na tabela.

No caso de AP, cuja interação G x A não foi significativa, o agrupamento foi realizado apenas para as médias marginais dos genótipos e dos ambientes. Isto é, consideraram-se as alturas médias gerais dos genótipos demonstradas nos três ambientes, provenientes de 9 observações (3 blocos x 3 ambientes) e as médias gerais dos ambientes, provenientes de 75 observações (25 genótipos x 3 blocos).

Para as demais características, o teste de agrupamento de Scott-Knott foi realizado respeitando-se o desdobramento da interação G x A significativa. Assim, foi realizado um teste de agrupamento dos genótipos para cada ambiente e vice-versa (Tabela 4).

De acordo com os resultados das análises estatísticas quanto à altura da planta, os híbridos de sorgo biomassa 5 (201934B005), 16 (201934B016), 17 (201934B017) manifestaram portes semelhantes na região de Cáceres-MT e Nova Xavantina-MT. Em seguida os híbridos de sorgo biomassa 2 (201934B009), 18 (201934B018), 19 (201934B019) e 20 (201934B020) com médias que variam de 4,9 m a 5,2 m de altura, decrescendo visivelmente na região de Nova Xavantina-MT. Por sua vez, os híbridos silageiro 24 (BRS 658) e 25 (Volumax) mantiveram as médias mais baixas de 2,7 m a 2,9 m.

Conforme resultados do trabalho desenvolvido por Castro (2014), ao avaliar o potencial agrônomo e energético de híbridos de sorgo biomassa, verificaram-se variações de altura de entre genótipos de 2,01 a 3,84 metros. Cunha & Lima (2010) ao avaliar alguns parâmetros produtivos de 29 genótipos de sorgos forrageiros no litoral do Rio Grande do Norte, observaram que a altura média das plantas foi de 3,2 metros.

A altura de plantas é controlada por quatro pares de genes que atuam de maneira independente e aditiva, sendo que a combinação dos alelos confere o porte da planta (EMBRAPA, 2008).

Silva et al. (2014) afirma que há uma relação entre altura de plantas e produtividade. Sendo assim, genótipos de sorgo com maior porte tendem a apresentar maiores produtividades.

As diferenças entre locais, ou seja, na interação G x A podem estar relacionadas com fatores macroambientais, tais como latitude, altitude, clima e solo, aspectos geográficos e/ou diferenças relacionadas com ciclo da cultura nos diferentes ambientes (DELGADO, et al. , 2019), conforme descrito em outros trabalhos com sorgo biomassa, até mesmo em outros tipos de sorgo, como o sorgo sacarino (FIGUEIREDO et al., 2015), sorgo forrageiro e sorgo granífero (MENEZES et al., 2014).

Quanto às médias de PMV da atual pesquisa (Tabela 4), os híbridos experimentais de sorgo biomassa 2 (201934B002), 9 (201934B009), 12 (201934B012), 15 (201934B015) e 22 (201934B022) sobressaíram, com médias que variaram de 72,326 t ha⁻¹, para os híbridos de sorgo biomassa 15 (201934B015) no município de Cáceres-MT, a 103,704 t ha⁻¹ para o híbrido 9 (201934B009) no município de Nova Xavantina.

Em relação a PMS, os híbridos 4 (201934B004), 5 (201934B005), 9 (201934B009), 10 (201934B010), 16 (201934B016), 17 (201934B017) e 18 (201934B018) demonstram que, em pelo menos um dos ambientes, suas médias foram diferentes das demais (Tabela 4).

O potencial de produção de energia de um híbrido de sorgo é diretamente relacionado à quantidade de massa seca que este produz. Assim, os híbridos comerciais de sorgo silageiro (BRS 658, Volumax) demonstraram uma PMS, nos três locais, variando de 12,904 t ha⁻¹ a 16,664 t ha⁻¹. Valores estes, muito inferiores a maioria dos materiais do tipo biomassa, se mostrando assim, menos promissores de exploração para o foco de cogeração de energia devido suas baixas produtividades de massa seca.

Destaque é dado a dois híbridos de sorgo biomassa, 2 (201934B002) e 9 (201934B009) que para PMS apresentaram um melhor resultado, mantendo-se

sempre nos grupos de maiores médias, formados pelo teste de Scott Knott, em todos os ambientes de avaliação (Tabela 4).

A PMS do genótipo 2 (201934B002) foi de 43,129 t ha⁻¹ no município de Cáceres-MT, de 32,218 t ha⁻¹ no município de Nova Xavantina, e de 37,976 t ha⁻¹ no município de Sinop-MT. Já o genótipo 9 (201934B009) teve médias de PMS de 45,506 t ha⁻¹ no município de Cáceres-MT, 33,947 t ha⁻¹ no município de Nova Xavantina, e de 32,389 t ha⁻¹ no município de Sinop-MT. Resultados estes que corroboram com os de outras literaturas que informam que, para produção de massa seca, o sorgo biomassa pode alcançar produtividades superiores a 30 t ha⁻¹, com alguns materiais experimentais do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo tendo alcançado resultados de produtividade acima de 50 t ha⁻¹ (PARRELLA et al., 2011).

Quanto ao florescimento, os híbridos de sorgo silageiros foram mais precoces quando comparados aos genótipos do tipo biomassa. O híbrido 24 (BRS 658) foi o mais precoce de todos florescendo aos 68 dias após seu plantio nos dois locais de avaliação (Cáceres e Sinop). Em seguida, como segundo mais precoce, o híbrido 25 (Volumax) teve médias de florescimento de 72 e 76,3 dias, respectivamente, em Sinop e Cáceres. Os híbridos biomassas mais precoces só floresceram aos 115 dias em Sinop e aos 127 dias em Cáceres. Por sua vez, os grupos de genótipos mais tardios floresceram a partir de 133 dias em Sinop e a partir de 157 dias após plantio em Cáceres.

Em um experimento de sorgo forrageiro desenvolvido em segunda safra em Uberlândia (MG), Zandonadi et al. (2014) verificaram florescimentos variáveis entre 68 a 74 dias para os genótipos considerados mais tardios; 60 a 67 dias para os mais precoces. O híbrido Volumax floresceu mais tardiamente quando comparado com BRS 658, florescendo aos 71,08 dias.

Foram instalados quatro experimentos com cinco cultivares de sorgo sacarino (BRS 506, BRS 511, IAC-SART, BRANDES e SILOTEC 20) em parcelas subdivididas em quatro épocas de semeadura (12/11/2013, 11/12/2013, 07/01/2014 e 17/02/2014) na área experimental pertencente ao Centro Avançado de Pesquisa do Agronegócio de Seringueira e de Sistemas Agroflorestais do IAC/APTA, em Votuporanga-SP. Houve uma variação do período para florescimento e para maturação fisiológica dos grãos das cultivares, com florescimento variando de 69 até

88 dias após a semeadura e maturação fisiológica ocorrendo entre 109 e 128 dias (ROMAGNOLI, 2020). Influenciados pelas condições climáticas no período de plantio, observaram-se redução no crescimento em altura e diâmetro em semeadura tardia (CECCON et al., 2018).

A interação G x A é um dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, na fase de seleção ou para a recomendação de cultivares. Dentre as alternativas para se amenizar a influência dessa interação G x A para obtenção de um resultado favorável, vem sendo recomendado o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e alta estabilidade no intuito de se garantir certa previsibilidade produtiva (BARROS et al., 2010).

Assim, para características PMV, PMS e FLOR, nas quais foram detectadas interações G x A significativas, demonstrou-se uma necessidade de investigar a estabilidade fenotípica dos híbridos que reúnam as características desejáveis, visando uma recomendação generalizada. Desta forma, utilizou-se o método de Wricke (1965) (Tabela 5), que é adequado para poucos ambientes, conforme relatado por Cruz et al. (2012). Neste método, o parâmetro de estabilidade é denominado “ecovalência” (w_i), considerado 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 w_i revelam maior estabilidade de comportamento (Sharma, 2006).

Os híbridos de sorgo biomassa 2 (201934B002), 8 (201934B008), 9 (201934B009), e o híbrido comercial de sorgo biomassa da Embrapa 22 (BRS 716) apresentaram maior estabilidade em todos os ambientes avaliados (Tabela 5). É importante destacar que os híbridos de sorgo biomassa 2 (201934B002) e 9 (201934B009), além de contribuírem com baixa porcentagem da interação G x A para todos os caracteres avaliados, reúnem atributos favoráveis, ou seja, maiores PMV e PMS em todos os locais avaliados (Tabela 4). Esses resultados demonstram sua potencialidade para cultivo em outros locais do Mato Grosso. Contudo, aconselha-se que sejam realizadas mais avaliações com estes sorgos biomassas em outros locais, com características edafoclimáticas distintas das aqui testadas, para uma recomendação mais confiável.

Tabela 5. Estimativas das ecovalências (w_i) do método de Wricke (1965) obtidas para estimar a estabilidade para as características produção de massa verde (PMV), produção de massa seca (PMS) e dias para o florescimento (FLOR) de vinte e cinco genótipos de sorgo, avaliados em ensaios de competição implantados em Cáceres-MT, Nova Xavantina-MT e Sinop-MT, na Safra 2019/20, com exceção de florescimento, avaliado apenas em Cáceres-MT e Sinop-MT.

Genótipo	PMV		PMS		FLORESCIMENTO		
	Ecovalência (Wi)	Wi (%)	Ecovalência (Wi)	Wi (%)	Ecovalência (Wi)	Wi (%)	
1	201934B001	1392,39	7,92	280,53	8,26	71,00	6,45
2	201934B002	135,55	0,77	26,93	0,79	5,30	0,48
3	201934B003	848,25	4,83	154,86	4,56	1,88	0,17
4	201934B004	978,97	5,57	200,99	5,92	0,02	0,00
5	201934B005	811,43	4,62	188,02	5,54	18,87	1,71
6	201934B006	325,35	1,85	51,05	1,50	15,49	1,41
7	201934B007	448,74	2,55	65,59	1,93	5,30	0,48
8	201934B008	308,04	1,75	64,57	1,90	12,44	1,13
9	201934B009	333,05	1,9	63,24	1,86	9,03	0,82
10	201934B010	206,80	1,18	85,01	2,50	4,79	0,43
11	201934B011	1004,45	5,72	42,19	1,24	1,88	0,17
12	201934B012	495,19	2,82	25,59	0,75	4,79	0,43
13	201934B013	505,40	2,88	34,23	1,01	62,47	5,67
14	201934B014	451,53	2,57	170,90	5,03	0,07	0,01
15	201934B015	246,62	1,4	67,82	2,00	9,73	0,88
16	201934B016	199,79	1,14	67,13	1,98	22,58	2,05
17	201934B017	3641,00	20,72	718,91	21,17	3,59	0,33
18	201934B018	659,02	3,75	549,42	16,18	1,16	0,11
19	201934B019	231,06	1,32	6,91	0,20	22,58	2,05
20	201934B020	1002,54	5,71	166,82	4,91	57,91	5,26
21	201934B021	1585,53	9,02	88,96	2,62	34,37	3,12
22	BRS 716	25,01	0,14	42,71	1,26	9,73	0,88
23	AGRI002E	396,41	2,26	161,38	4,75	71,00	6,45
24	BRS 658	605,52	3,45	59,35	1,75	422,69	38,38
25	Volumax	730,95	4,16	12,39	0,36	232,63	21,12
TOTAL		17568,58	100,00	3395,50	100,00	1101,29	100,00

5 CONCLUSÕES

Híbridos de sorgo biomassa, sensíveis ao fotoperíodo, em plantios de verão, demonstram portes e produtividades de biomassa superiores a sorgos do tipo silageiro.

Os híbridos comerciais de sorgo silageiro BRS 716 e AGRI002-E apresentaram elevadas produtividades de biomassa em cultivos de primeira safra no Mato Grosso.

Os híbridos experimentais de sorgo biomassa 2 (201934B002) e 9 (201934B009) são os mais indicados para cultivo nos ambientes avaliados, visando produção de etanol, para geração de energia, pois possuem alta produtividade de massa verde e massa seca, como também alta estabilidade fenotípica para essas características.

Pelas produtividades de massa verde e massa seca apresentada, a cultura do sorgo biomassa demonstra viabilidade de uso no Mato Grosso para múltiplas finalidades, desde cobertura do solo (palhada), geração de energia e até mesmo alimentação animal. Necessitando, para tal, a escolha da cultivar mais adaptada, devido a existência de interação genótipos x ambientes para tais características.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. G. F. de. **Etanol de segunda geração utilizando sorgo biomassa de nervura marrom “brown midrib” BRM (*Sorghum bicolor*)**. 2019. 115 f. Tese (de Doutorado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

BACH, S.; YADA, R. Y.; BIZIMUNGU, B.; SULLIVAN, J. A. Genotype by environment effects on fibre components in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Euphytica**, v.187, n.44, p.77-86, 2012.

BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T.; TEXEIRA, R. C.; FIDELIS, R. R.; CRUZ, C. D.; REIS, M. S. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados no estado do Mato Grosso. **Revista Ceres**, Viçosa/MG, v. 57, p. 359-366, 2010.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2001. 500 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Em 2016, biomassa é a segunda maior fonte de energia**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/03/em-2016-biomassa-e-a-segunda-maior-fonte-de-energia>>. Acesso em: 03 de nov. 2020.

CASTRO, F.M.R. **Potencial Agrônômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa 2014**.80f. Dissertação (mestrado em agronomia)-Programa de Pós-graduação em agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014.

CECCON, G.; MAKINO, P.A.; ALVES, V.B.; FACHINELLI, R.; LUZ, R.A. (2018) - **Produtividade de cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura e tipos de solo**. Revista de Agricultura Neotropical, vol. 5, n. 2, p. 69-75.

CHIELE, Z. **Introdução da cultivar “caninha de semente” no Rio Grande do Sul**, Taquari, RS, 2013. Informação pessoal

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa-MG: UFV, 2004.

CRUZ CD, REGAZZI AJ, CARNEIRO AJ, SOUZA PC (2012). **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa.

DE MOURA, I. A. A., DANTAS, J., CAVALCANTI, I. L. R., DE LIMA, M. M., & SILVA, M. C. D.. Biomassa proveniente da casca da banana *Musa sapientum*: pretratamento e hidrólise ácida para análise da viabilidade na produção de bioetanol. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1975-1987, 2020.

DELGADO, I. D., GONÇALVES, F. M. A., PARRELLA, R. A. D. C., CASTRO, F. M. R. D., NUNES, J. A. R. Genotype by environment interaction and adaptability of photoperiod-sensitive biomass sorghum hybrids. **Bragantia**, v. 78, n. 4, p. 509-521, 2019.).

DAMASCENO, C. M. B. et al. **Análise morfoagronômica e bioquímica de um painel de sorgo energia para características relacionadas à qualidade da biomassa**. Circular Técnica Embrapa Sete Lagoas/ MG, v. 190, Dez 2013.

DOGETT, H. SORGHUM. **Great Britain: Longmans, Green and Co Ltd.** 1970. 403 p.

DOGETT, H. **The development of the cultivated sorghums**. In: HUTCHINSON, J. P. et al. (Ed.) Essays on crop plant evolution. London: Cambridge University Press, 1965a.

DELACY, I. H.; KUAL, S.; RANA, B. S.; COOPER, M. Genotypic variation for grain and stover yield of dryland (rabi) sorghum in India 2. A characterisation of genotype x environment interactions. **Field Crops Research**, v. 118, p. 236-242, 2010.

DUARTE, J.O. **Sorgo – Aspectos econômicos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 65p. 2003. (Documentos).p.12.

DURÃES. F. O. M. **Agroenergia em revista Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia**. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. Agroenergia em revista. Brasília: Embrapa, 3. ed. p. 7, 2011.

EICHLER, P.; SANTOS, F.; TOLEDO, M.; ZERBIN, P.; SCHMITZ, G.; ALVES, C.; RIES, L.; GOMES, F. Biomethanol Production via Gasification of Lignocellulosic Biomass. **Química Nova**, v. 38, n. 6, p. 828–835, 2015.

EMBRAPA. **Cultivo de Sorgo- 2008**. Online. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/clima.htm-Embrapa,2008> Acesso em 08 de jan. 2021.

EMATER/MG. **Cultura do Sorgo**. IN: ROSA,W.J. Departamento técnico da Emater. 6f. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ENERGETICA>>. Acesso em: 27 fev. 2021

FERNANDES, P.G. **Avaliação agrônômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas-MG**. 2013. 89f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro . 2013.

FIGUEIREDO U. J.; NUNES J. A.; PARRELLA R. A.; TARDIN F. D.; Adaptability and stability of genotypes of sweet sorghum by GGEbiplot and Toler methods. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 11211-11221, 2015.

KAMRAN, M.; FAZAL, M. R.; MUDASSAR, M. Towards empowerment of the renewable energy sector in Pakistan for sustainable energy evolution: SWOT analysis. **Renewable Energy**, v. 146, p. 543–558, 2020.

LIMA, L. M.; OLIVEIRA, A. M. K.; CARLETTI FILHO, P. T.; FERRARI, R. C.; CAIXETA FILHO, J. V. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica da utilização de biomassas como fonte energética alternativa em fornos industriais**. Revista de Economia e Agronegócio–REA, v. 4, n. 1, 2015.

LIMA, F. D. C. D. **Potencial produtivo de diferentes genótipos de Sorgo**. 2020.

MATTOS, J. A. **Estação Massambará: origem do nome da cultivar Massambará**. Carazinho, RS, 2003. (Informação pessoal).

MAY, A. et al. **Sorgo biomassa para a cogeração de energia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 7 p. .SCircular Técnica, 211).

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. **Cultivo do sorgo: ecofisiologia**. 5.ed. Sete Lagoas: Embrapa, 2009. (Sistema de Produção, 2).

MARAFON, A. C., SANTIAGO, A. D., AMARAL, A. F. C., BIERHALS, A. N., PAIVA, H. L., GUIMARAES, V. S., 2016. **Uso da biomassa para a geração de energia**. Documentos 211- Embrapa Tabuleiros Costeiros.

MENEZES, C. B.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; DOS SANTOS, C. V.; SALDANHA, D. C. Avaliação de cultivares de Sorgo em Ambientes com e sem Restrição Hídrica. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., Salvador, 2014. **Anais...** Sete Lagoas, MG: ABMS, 2014.

NAIK, D. K. et al. Pyrolysis of sorghum bagasse biomass into bio-char and bio-oil products. A thorough physicochemical characterization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v. 127, n. 2, p. 1277-1289, 2017.

OLIVEIRA, I. C. M. **Heterose e capacidade de combinação em cruzamentos dialélicos de sorgo biomassa**. 2015.

PARRELLA, N. N. L.; PARRELLA, R. A. C. Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. **Produção de sementes de sorgo sacarino**. Agroenergia em revista. Ano II, nº 3, agosto de 2011.

PARRELLA, R.A.C. Sorgo sacarino: Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**. 3:1-9, 2011.

PIASSA, A. A. P. **Avaliação agrônômica de cultivares de sorgo biomassa**. 2016

QUIMBY, J. R. Sorghum improvement and genetics of growth. **Texas 77843: College Station, Texas A&M University Press**, 1974. 108 p.

ROMAGNOLI, M. J., DE FREITAS, R. S., ALBUQUERQUE, C. J. B., BORGES, W. L. B., PEREIRA, A. J., & ZOZ, A.. Época de semeadura sobre cultivares de sorgo sacarino. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72484-72497, 2020.

RIBAS, P. M. Sorgo: introdução e importância econômica. **Embrapa Milho e Sorgo-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

RIBAS, P. M.. **Importância econômica**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico ALICE), 2000.p.3.

RODRIGUES, J.A.S.; PEREIRA FILHO, I.A.. **Sorgo : o produtor pergunta, a Embrapa responde Brasília, DF** : Embrapa, 2015. 327 p.- (Coleção 500 perguntas, 500respostas).

ROSS, W. M. **Use of population breeding in sorghum: problems and progress**. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 28., 1973, Chicago. Proceedings... Chicago: ASTA, 1973. p. 30-43.

SANTOS, J. D., TARDIN, F., DA ROSA, M. A. B., DE FREITAS, M. H., TODESCATTO, F., DE SOUZA, J. M. S., ... & RODRIGUES, J. D. S. (2020). Avaliação de híbridos de sorgo silageiro na safra 2019 em Sinop-MT. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/CNPq, 18., 2020, Sete Lagoas.[Trabalhos apresentados]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020., 2020.

SILVA, R. A.; PARRELLA, R. A. C.; SOUZA, V. F.; SANTOS, C. V.; RIBEIRO, P. C. O; SILVA, M. J.; BERNARDINHO, K. C.; SCHAFFERT, R. E.; RABELO, M. M.; OLIVEIRA, M. S. **Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos experimentais de sorgo biomassa**. In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, Outubro, 2014. São Paulo, SP.

DA SILVA, S. P., AKASAKI, J. L., & SANCHES, A. O. Reaproveitamento do resíduo da madeira de eucalipto (RME) para a produção de energia sustentável. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 13, n. 28, 2020.

SANTIAGO, F. L. S. **Aproveitamento de resíduos florestais de Eucalyptusppna indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica**.2013. 109 f. Tese (Doutorado) -Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

SHARMA JR (2006). **Statistical and biometrical techniques in plant breeding**. New Age International, New Delhi.

SOUZA, V. F. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. Janaúba: Universidade Estadual de Montes Claros, 2011. 53p (Dissertação-Mestrado em Produção Vegetal).

SNOWDEN, J. D. Cultivated races of sorghum. **London: Aslard and Sons**. 1936. 274 p.

SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. Sorghum: origin, history, technology, and production. **College Station: Texas A & M University**, 2005. 824 p. (Wiley Series in Crop Science).

PEREIRA FILHO, I. A. et al. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [Sorghum bicolor (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando à obtenção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: EMBRAPA, 2012. 1 CD-ROM.

PRADO, E. E. P.; HIRIMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M. RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2001.

TABOSA, J. N.; BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. de M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Cultivo do sorgo no semiárido brasileiro: potencialidades e utilizações. In: FIGUEIREDO, M. do V. B.; SILVA, D. M. P. da; TABOSA, J. N.; BRITO, J. Z. de; FRANÇA, J. G. E. de; WANDERLEY, M. de B.; SANTOS FILHO, A. S. dos; GOMES, E. W. F.; LOPES, G. M. B.; OLIVEIRA, J. de P.; SANTIAGO, A. D. **Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável**. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2013. 356 p.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökivalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Pflanzenzucht**, Berlin, v. 52, p. 127-138, 1965.

YOKOMIZO, G. K. **Interação genótipos x ambientes em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão**. 1999. 171f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ZANDONADI, C. H. S.; BORGES, M. G.; MARTINS, W. G.; SANTOS, G. A.; SILVA, D.; ALBUQUERQUE, C. J. B. Desempenho agrônomo de híbridos experimentais de sorgo para produção de silagem na safrinha. In: **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Salvador, BA. 2014: Salvador: ABMS, 2014. 4p.