

Planaltina, DF / Maio, 2024

Avaliação de híbridos experimentais de sorgo biomassa em Planaltina, DF, safra 2022/2023

José de Ribamar Nazareno dos Anjos⁽¹⁾, Juaci Vitória Malaquias⁽²⁾, Francisco Duarte Fernandes⁽¹⁾ e Rafael Augusto da Costa Parrella⁽³⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽²⁾ Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptação geográfica e climática, além do potencial produtivo de 25 híbridos de sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* L. Moench), incluindo 21 híbridos experimentais, sob as condições edafoclimáticas do Distrito Federal. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Brasil, durante a safra 2022/2023, em Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, utilizando um delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Foram analisados parâmetros como florescimento, altura das plantas, peso de massa verde, produção de matéria seca total e percentagem de matéria seca. A significância dos tratamentos foi avaliada via análise de variância (Anova), revelando diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os híbridos. O teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, foi utilizado para comparar as médias. Todos os parâmetros analisados apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Na produção de massa verde, formaram-se cinco grupos, com médias variando entre 90,79 t ha⁻¹ (CMSXS7100), sem diferença significativa em relação ao CMSXS7101 (89,05 t ha⁻¹), e 12,72 t ha⁻¹ (BRS 658), sem diferença significativa em relação ao Volumax (18,57 t ha⁻¹). Para a produção de matéria seca, o teste de Scott-Knott identificou sete grupos, com médias variando de 29,30 t ha⁻¹ (CMSXS7100) a 4,01 t ha⁻¹ (BRS 658), sem diferença significativa em relação ao Volumax (4,22 t ha⁻¹). O ciclo dos híbridos variou de 81 dias (BRS 658) a 153 dias (202227B015 e BRS 716). Destacaram-se os híbridos CMSXS7100 (29,30 t ha⁻¹) e CMSXS7101 (25,91 t ha⁻¹) na variável produção de matéria seca.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, produtividade de biomassa, fenologia.

Evaluation of experimental biomass sorghum hybrids in Planaltina, DF, Brazil, season 2022/2023

Abstract – The objective of this study was to evaluate the potential of twenty five biomass sorghum hybrids (*Sorghum bicolor* L. Moench), including 21 experimental hybrids developed by the sorghum breeding program of Embrapa Maize and Sorghum, for high biomass yield under the edaphoclimatic conditions of the Federal District, Brazil. The field experiment was conducted at Embrapa Cerrados, located in Planaltina, Federal District, Brazil, in a Clayey Oxisol (Dystrophic Red Latosol). Planting was carried out on 11/21/2022, in

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília /
Fortaleza
Caixa Postal 08223
73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Eduardo Alano Vieira
Secretário-executivo
Gustavo José Braga
Membros
Alessandra Silva Gelape Faleiro,
Edson Eyji Sano, Fábio Gelape
Faleiro, Jussara Flores de Oliveira
Arbues, Kleberson Worsley Souza
e Ranyse Barbosa Quirino da Silva

Edição executiva e
revisão de texto
Jussara Flores O. Arbues
Normalização bibliográfica
Antonia Veras de Souza
(CRB-1/2023)
Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio
Diagramação
Jussara Flores O. Arbues
Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

a randomized block design with three replications. The traits of plant height, fresh biomass yield, days of flowering, total dry mass yield and percentage of dry mass were evaluated. The statistical evaluation of the significance of the treatments was done by analysis of variance (Anova), which indicated a significant difference ($P < 0.05$) among the hybrids for the evaluated traits. For the comparison of the means, the Scott-Knott test was performed at 5% probability. For all traits were found statistically significant differences among treatments. Regarding the fresh biomass yield trait, the formation of five groups was observed with averages among genotypes ranging between 90.79 t ha^{-1} (CMSXS7100), which did not differ significantly from CMSXS7101 (89.05 t ha^{-1}), and 12.72 t ha^{-1} (BRS 658), which did not differ significantly from Volumax (18.57 t ha^{-1}). For dry mass yield, seven groups were observed with averages among genotypes ranging from 29.30 t ha^{-1} to 4.01 t ha^{-1} , respectively for CMSXS7100 and BRS 658, which did not differ significantly from Volumax (4.22 t ha^{-1}). The cycle of the hybrids ranged from 81 days (BRS 658) to 153 days (202227B015 and BRS 716). Regarding the dry mass yield hybrids CMSXS7100 (29.30 t ha^{-1}) and CMSXS7101 (25.91 t ha^{-1}) stand out from the other hybrids evaluated in the studied environment.

Index terms: *Sorghum bicolor*, biomass yield, phenology.

Introdução

As décadas recentes são caracterizadas pelo crescimento da riqueza e da demanda global por energia, além de elevados níveis de poluição, principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural (Asif; Muneer, 2007; Tursi, 2019). À medida que cresce a demanda por esses combustíveis como fontes de energia, expande-se a pressão sobre suas reservas, razão pela qual podem ter seu fornecimento reduzido, resultando em insegurança energética (Edrisi; Abhilash, 2016; Mehmood et al., 2017), além de impactarem negativamente as mudanças climáticas (Mehmood et al., 2017). Por isso, é crescente o empenho global para o desenvolvimento de novas fontes de fornecimento de energia (Rocateli et al., 2012; Suryaningsih; Irhas, 2014). Nesse cenário de demanda, insere-se a necessidade de uso de fontes renováveis, incluindo a biomassa (fonte de energia neutra em carbono) (Alper et al., 2020), para a geração de energia no Brasil e em outros países, tanto para a produção de etanol quanto para a cogeração de

energia elétrica (Silva et al., 2016), em cujo contexto o sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] insere-se como matéria-prima promissora.

As principais vantagens comparativas do sorgo biomassa como fonte de energia são: alto rendimento energético por hectare; é totalmente mecanizável (do plantio à colheita); é estabelecido por sementes; sistemas de produção agrícola conhecidos; tem um ciclo curto (5 a 6 meses); apresenta tolerância à seca (Parrella et al., 2011); demonstra versatilidade como fonte de carboidrato (etanol de segunda geração) e lignocelulose para combustão; tem alto poder calorífico e apresenta ampla adaptabilidade (Habyarimana et al., 2004; Castro, 2014; Vendruscolo et al., 2016). No Brasil, devido a condições hidrológicas desfavoráveis no passado, houve redução no fornecimento de energia gerada por usinas hidrelétricas (May et al., 2016), com o consequente aumento na geração térmica, em cujas fontes inclui-se o sorgo biomassa, que pode ser colhido na entressafra da cana-de-açúcar (quando há escassez de bagaço). Esse tipo de sorgo, também conhecido como sorgo energia, tem recebido destaque nos últimos anos como matéria-prima para cogeração de energia (Parrella et al., 2011). Com o intuito de atender à característica de alto rendimento energético por hectare, o programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo, com potencial de produção de biomassa superior a 50 t ha^{-1} (Parrella et al., 2011). Nesse tipo de sorgo, a floração tardia e o longo período de crescimento vegetativo são características essenciais para o acúmulo de biomassa (Rooney et al., 2007; Murphy et al., 2014).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a adaptação geográfica e climática, e o potencial de produção de 21 híbridos experimentais de sorgo biomassa desenvolvidos pelo programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo (PME), nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal.

Material e métodos

O experimento de campo foi conduzido na Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, DF, Brasil ($S15^{\circ}36.194'$, $W047^{\circ}43.048'$, 1.017 m de altitude), em Latossolo Vermelho Distrófico argiloso. O plantio foi realizado em 9/11/2022, em um delineamento de blocos ao acaso com três repetições, e a colheita dos híbridos mais tardios foi realizada em 25/4/2023. Assim, o período experimental foi de 167 dias. Foram avaliados 25 híbridos de sorgo: 21

experimentais de sorgo biomassa desenvolvidos pelo PME e quatro híbridos comerciais usados como testemunhas: BRS 716, tipo biomassa (PME); BRS 658, tipo forrageiro (PME); AGRI002E, tipo biomassa (Agricomseeds) e Volumax, tipo forrageiro (Agrocere).

Durante o período de condução do experimento, de novembro de 2022 a maio de 2023, foram registradas as seguintes variáveis climáticas na Estação Climatológica Principal da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF): a média das temperaturas mínimas foi de 16,5 °C, a média das temperaturas médias foi de 21,3 °C e a média das temperaturas máximas foi de 28,0 °C (Figura 1); a precipitação média diária foi de 4,77 mm e a precipitação máxima foi de 58,1 mm; a maior umidade relativa média do período foi de 97,3%, a menor foi de 53,4% e a média foi de 75,6% (Figura 2).

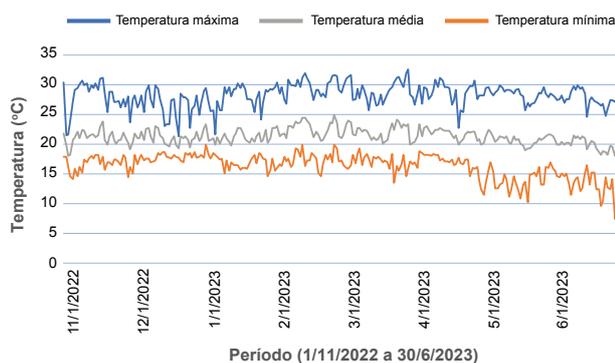


Figura 1. Temperaturas máxima, mínima e média observadas no período de novembro/2022 a maio de 2023, na estação principal da Embrapa Cerrados.

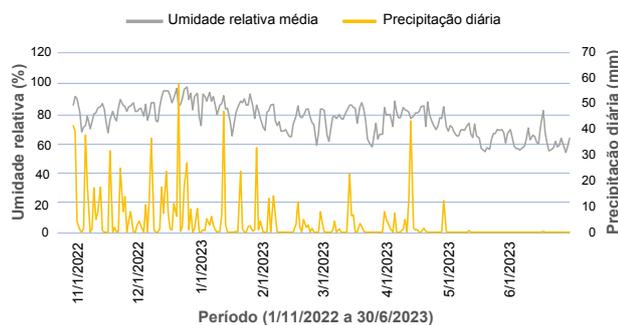


Figura 2. Umidade relativa e precipitação registradas no período de novembro/2022 a maio/2023, na estação principal da Embrapa Cerrados.

As parcelas foram constituídas de duas linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,70 m. Excluindo-se 1 m de cada extremidade, a área útil foi de 4,2 m². Foi realizado um desbaste manual 18 dias

após o plantio, deixando-se oito plantas por metro linear, o que resultou em uma população estimada de 114.285 plantas por hectare. O espaçamento entre as parcelas também foi de 0,70 m.

Amostras compostas de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, efetuando-se a análise química anterior à instalação do experimento, que evidenciou os seguintes valores: pH (H₂O) = 5,8; P (Mehlich1 – mg/dm³) = 16,2; K (cmol/dm³) = 0,25; Ca (cmol/dm³) = 5,5; Mg (cmol/dm³) = 2,8; Al (cmol/dm³) = 0,0; MO (g/kg) = 21,0; acidez (H + Al) (cmol/dm³) = 2,2; CTC a pH 7 (cmol/dm³) = 10,8; V (%) = 79; soma das bases (cmol/dm³) = 8,6; saturação por alumínio (%) = 0,0.

Com base na análise de solo, a adubação foi realizada com as seguintes doses de fertilizantes: 400 t ha⁻¹ da fórmula 05-25-15 + Zn no plantio e 130 t ha⁻¹ de N na forma de ureia (45% N) + 60 t ha⁻¹ de K₂O na forma de KCl em cobertura, 19 dias após o plantio. Em pré e pós-emergência, foi utilizado o herbicida Atrazina 400 SC, na dose de 5 L ha⁻¹ do produto comercial. O controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com Curyom 550 CE (profenofós 500 g L⁻¹ e lufenuron 50 g L⁻¹) – 200 a 300 mL ha⁻¹. Sempre que necessário, foi efetuada capina manual complementar.

Os seguintes caracteres agrônômicos foram avaliados: florescimento (Flor) – número de dias da sementeira até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela; altura das plantas (AP, cm) – medida na época da colheita, altura média das plantas da área útil da parcela, medida da superfície do solo ao ápice da panícula; peso de massa verde total (sem panícula) (PMV, t ha⁻¹) – peso das plantas da área útil da parcela (4,2 m²) determinado pela pesagem de 48 plantas colhidas quando os grãos estavam no estágio de massa dura/farináceo; produção de matéria seca total (PMS, t ha⁻¹) – produto da PMV pela percentagem de matéria seca das amostras verdes das parcelas (MS). Para essa determinação, cinco plantas sem panículas, escolhidas ao acaso, foram picadas em máquina forrageira do tipo desintegradora, picadora e moedora (DPM 500). Em seguida, 500 g de massa, acondicionadas em saco de papel, foram colocadas em estufa a 65 °C, onde permaneceram até que o peso se tornasse constante.

As variáveis em análise foram avaliadas no delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Para a análise de variância (Anova),

foram verificados os pressupostos de normalidade dos resíduos e a homogeneidade da variância. Para a comparação múltipla das médias, foi utilizado o método de agrupamento de Scott-Knott (Scott; Knott, 1974), ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando o software estatístico R, versão 4.1.2 (R Core Team, 2023).

Resultados e discussão

De acordo com a análise de variância e o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$), houve diferenças significativas entre os híbridos para as características avaliadas: Flor (dia), AP (m), PMV ($t\ ha^{-1}$), MS (%) e PMS ($t\ ha^{-1}$) (Tabela 1), o que demonstra a diversidade genética entre eles quanto a essas características.

Tabela 1. Valores médios para os caracteres agrônômicos: florescimento (Flor), altura de plantas (ALT), produção de massa verde (PMV), produção de matéria seca (PMS) e percentagem de matéria seca (MS) de genótipos de sorgo biomassa avaliados na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, safra 2022/2023.

Genótipo	Flor ⁽¹⁾ (dia)	ALT ⁽²⁾ (m)	PMV ⁽³⁾ ($t\ ha^{-1}$)	PMS ⁽⁴⁾ ($t\ ha^{-1}$)	MS ⁽⁵⁾ (%)
202227B015	153,00 a	5,11 b	56,74 b	18,79 c	33,07 a
BRS 716	153,00 a	4,79 c	54,76 b	17,90 c	32,73 a
AGRI002E	149,00 b	5,07 b	57,62 b	19,95 c	34,60 a
CMSXS7500	141,00 c	3,02 h	36,51 d	9,13 e	25,13 c
CMSXS7100	139,67 c	5,34 a	90,79 a	29,30 a	32,33 a
CMSXS7502	135,00 d	4,02 e	48,73 c	10,17 e	20,87 d
CMSXS7026	132,00 e	4,57 d	48,57 c	12,02 d	24,73 c
202227B017	128,00 f	4,43 d	38,71 d	11,94 d	30,87 b
CMSXS7101	127,67 f	4,96 b	89,05 a	25,91 b	29,53 b
CMSXS7023	124,00 g	4,09 e	34,13 d	11,67 d	34,20 a
202227B011	112,00 h	4,16 e	51,27 b	13,02 d	25,47 c
202227B010	109,00 i	3,92 e	52,70 b	12,50 d	23,73 c
202227B013	108,67 i	3,98 e	50,00 c	10,82 e	21,67 d
CMSXS7054	107,67 i	4,09 e	45,24 c	10,29 e	22,67 d
202227B009	99,67 j	3,63 g	45,40 c	11,14 d	24,67 c
202227B003	99,33 j	3,74 f	38,73 d	9,08 e	23,47 c
202227B007	99,00 j	3,78 f	52,54 b	12,89 d	24,60 c
202227B012	97,67 j	3,92 e	45,86 c	10,81 e	23,53 c
202227B004	95,00 k	3,75 f	36,83 d	9,08 e	24,67 c
CMSXS7055	93,00 l	3,67 g	29,21 d	7,02 f	24,00 c
202227B001	89,33 m	3,54 g	36,19 d	10,34 e	28,53 b
202227B008	89,00 m	3,61 g	33,97 d	8,54 e	25,20 c
202227B002	88,67 m	3,84 f	40,63 d	10,19 e	25,00 c
Volumax	88,33 m	2,56 i	18,57 e	4,22 g	22,73 d
BRS 658	81,00 n	2,67 i	12,72 e	4,01 g	31,73 a
Média	113,59	4,01	45,82	12,43	26,79
CV (%)	0,91	2,76	8,23	9,23	4,89

⁽¹⁾ Flor = florescimento.

⁽²⁾ ALT = altura de plantas.

⁽³⁾ PMV = produção de massa verde.

⁽⁴⁾ PMS = produção de matéria seca.

⁽⁵⁾ MS = percentagem de matéria seca.

As médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

O ciclo médio dos genótipos avaliados foi de 113,59 dias, variando de 81 dias para BRS 658 a 153 dias para 202227B015 e BRS 716. Com base no teste de médias, constatou-se que o híbrido BRS 658 foi o mais precoce, com um intervalo de 81 dias entre o plantio e o florescimento, seguido de Volumax (88,33 dias), 202227B002 (88,67 dias), 202227B008 (89,0 dias) e 202227B001 (89,33 dias) (Tabela 1). A precocidade desses híbridos deve-se à sua insensibilidade ao fotoperíodo, razão pela qual apresentam um período vegetativo curto (Parrella et al., 2010). Já os mais tardios foram 202227B015 e BRS 716, ambos com florescimento aos 153 dias após o plantio, seguidos de AGR1002E, que floresceu aos 149 dias após o plantio (Tabela 1). A longevidade do ciclo desses híbridos deve-se à sua sensibilidade ao fotoperíodo, razão pela qual seu florescimento é retardado (a indução floral ocorre quando o comprimento do dia se torna menor que 12 horas e 20 minutos) (Parrella et al., 2010; Wight et al., 2012). Meki et al. (2017) pontuam que essa característica (sensibilidade ao fotoperíodo) permite que a planta acumule o máximo de biomassa quando cultivada no período de dias longos, daí sua importância para as cultivares de sorgo destinadas à cogeração de energia. Do ponto de vista econômico, maiores ganhos de biomassa sempre serão desejáveis no cultivo desse tipo de sorgo; logo, o manejo deve ser feito de tal forma que as plantas continuem a crescer vegetativamente por períodos mais longos antes da colheita. Nesse sentido, o PME vem desenvolvendo híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo com alto potencial de produção de biomassa visando o fornecimento de matéria-prima para a cogeração de energia (Parrella et al., 2010).

A altura média dos híbridos (AP) foi de 4,01 m, variando de 5,34 m, para CMSXS7100, o mais alto, a 2,56 m para Volumax, que não diferiu significativamente de BRS 658 (2,67 m) (Tabela 1). Tanto Volumax quanto BRS 658 são insensíveis ao fotoperíodo, por isso apresentaram o menor porte. Um segundo grupo com porte alto, mas significativamente diferente de CMSXS7100, foi representado pelos híbridos CMSXS7101 (4,96 m), AGR1002E (5,07 m) e 202227B015 (5,11 m) (Tabela 1). A altura das plantas é considerada um bom indicador de matéria seca em sorgo sensível ao fotoperíodo, tendo em vista que essa característica contribui para o maior crescimento (Habyarimana et al., 2004; Wight et al., 2012; Castro, 2014). O híbrido CMSXS7500, a despeito de porte médio de 3,02 m, expressou acamamento médio de 95,23%.

Para a variável produção de massa verde (PMV), foi observada a formação de cinco grupos (Tabela 1) com oscilação de médias entre 90,79 t ha⁻¹

(CMSXS7100), que não diferiu significativamente de CMSXS7101 (89,05 t ha⁻¹), e 12,72 t ha⁻¹ (BRS 658), que não diferiu significativamente de Volumax (18,57 t ha⁻¹). Os híbridos de sorgo forrageiro BRS 658 e Volumax, usados como testemunhas, provavelmente em virtude da insensibilidade ao fotoperíodo, apresentaram um período vegetativo mais curto e menor porte, o que refletiu negativamente na produção de massa verde (Parrella et al., 2010; Pereira et al., 2012; Castro, 2014), tendo sido, por isso, os menos produtivos (Tabela 1). O PMV desses dois híbridos, nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal, apresentou médias inferiores às obtidas por Silva et al. (2022) em Cáceres (MT), que foram de 33,30 e 35,59 t ha⁻¹, respectivamente, para BRS 658 e Volumax.

A percentagem média de matéria seca (MS, %) dos híbridos foi de 26,79%, variando de 33,07% (202227B015) a 20,87% (CMSXS7502), que não diferiu significativamente de 202227B013 (21,67%), CMSXS7054 (22,67%) e Volumax (22,73%) (Tabela 1). A média de produção de massa seca (PMS) dos híbridos foi de 12,43 t ha⁻¹ (Tabela 1). Para essa variável, verificou-se a formação de sete grupos pelo teste de Scott-Knott (Tabela 1), cujas médias variaram de 29,30 a 4,01 t ha⁻¹, respectivamente, para CMSXS7100 e BRS 658, que não diferiu significativamente de Volumax (4,22 t ha⁻¹). O híbrido CMSXS7101, a despeito de não apresentar o maior teor de MS (%), destacou-se quanto à produção de matéria seca (PMS, t ha⁻¹) em razão de ter se destacado também quanto às variáveis PMV (89,05 t ha⁻¹) e altura (4,96 m) (Tabela 1). Dessa forma, quanto à PMS, os híbridos CMSXS7100 e CMSXS7101 apresentaram superioridade relativamente às testemunhas (BRS 658 e Volumax), apresentando assim a mesma tendência da PMV.

Conclusão

Considerando a variável produtividade de matéria seca (PMS), os híbridos CMSXS7100 (29,30 t ha⁻¹) e CMSXS7101 (25,91 t ha⁻¹) demonstram o potencial do sorgo biomassa como uma cultura promissora na produção de biomassa para cogeração de energia renovável e outros fins.

Agradecimentos

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados, Thomaz Adolpho Rein, pela recomendação da adubação do experimento; aos assistentes de pesquisa da Embrapa Cerrados, Antônio Reinaldo da Cunha e Robson Santos Alves, pela contribuição na condução das atividades de campo e de laboratório.

Referências

- ALPER, A.; TEKIN K.; KARAG, B.; RAGAUSKAS, A.J. Sustainable energy and fuels from biomass: a review focusing on hydrothermal biomass processing. **Sustainable Energy & Fuels**, v. 4, p. 4390-4414, 2020.
- ASIF, M.; MUNEEER, T. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 7, p. 1388-1413, 2007.
- CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônomo e energético de híbridos de sorgo biomassa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- EDRISI, S. A.; ABHILASH, P. C. Exploring marginal and degraded lands for biomass and bioenergy production: an Indian scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1537-1551, 2016.
- HABYARIMANA, E.; LAURETI, D.; DE NINNO, M.; LORENZONI, C. Performance of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. **Industrial Crops and Products**, v. 20, n. 1, p. 23-28, 2004.
- MAY, A.; SOUZA, V. F.; GRAVINA, G. A.; FERNANDES, P. G. Espaçamento entrelinhas e população de plantas no desempenho produtivo do sorgo biomassa. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 434-439, 2016.
- MEHMOOD, M. A.; IBRAHIM, M.; RASHID, U.; NAWAZ, M.; ALI, S.; HUSSAIN, A.; GULL, M. Biomass production for bioenergy using marginal lands. **Sustainable Production and Consumption**, v. 9, p. 3-21, 2017.
- MEKI, M. N.; OGOSHI, R. M.; KINIRY, J. R.; CROW, S. E.; YOUKHANA, A. H.; NAKAHATA, M. H.; LITTEJOHN, K. Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas. **Industrial Crops & Products**, v. 103, p. 257-266, 2017.
- MURPHY, R. L.; MORISHIGE, D. T.; BRADY, J. A.; ROONEY, W. L.; YANG, S.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E. Ghd7 (Ma6) represses sorghum flowering in long day: Ghd7 alleles enhance biomass accumulation and grain production. **Alliance of Crop, the Plant Genome**, v. 7, n. 2, p. 1-15, 2014.
- PARRELLA, R. A. da C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).
- PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônomo de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).
- PEREIRA, G. de A.; PARRELLA, R. A. da C.; PARRELLA, N. N. N. L. E.; SOUZA, V. F.; SCHAFFERT, R. E.; COSTA, R. K. **Desempenho agrônomo de híbridos de sorgo biomassa**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônomo; Sete Lagoas: Associação Brasileiro de Milho e Sorgo, 2012. p. 82-88.
- R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Viena: **R Foundation for Statistical Computing**, 2023. Versão 4.2.1. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 set. 2023.
- ROCATELI, A. C.; RAPER, R. L.; BALKOM, K. S.; ARRIAGA, F. J.; BRANSBY, D. I. Biomass sorghum production and components under different irrigation/tillage systems for the southeastern U.S. **Industrial Crops and Products**, v. 36, n. 1, p. 589-598, 2012.
- ROONEY, W. L.; BLUMENTHAL, J.; BEAN, B.; MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, n. 2, p. 147-157, 2007.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SILVA, A. L.; TARDIN, F. D.; ROTA, G. W.; BALDONI, A. B.; BARELLI, M. A. A.; SILVA, A. F.; GONÇALVES, D. B.; SILVA, F. B.; RIBEIRO, J. R. D.; PARRELLA, R. A. C. Characterization of biomass sorghum cultivars aiming to generate energy for the north region of Mato Grosso, Brazil. **Nativa**, v. 4, n. 3, p. 175-178, 2016.
- SILVA, D. A. da; OLIVEIRA, A. J. de; OLIVEIRA, T. C. de; MORAIS, L. H. P.; LIMA, F. R. D.; SILVA, V. P. de; ELIAS, J. C. F.; TARDIN, F. D.; BARELLI, M. A. A. Desempenho agrônomo de híbridos de sorgo biomassa avaliados na mesorregião Centro-Sul mato-grossense. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.
- SURYANINGSIH, R.; IRHAS. Bioenergy plants in Indonesia: sorghum for producing bioethanol as an alternative energy substitute of fossil fuels. **Energy Procedia**, v. 47, n. 8, p. 211-216, 2014.
- TURSI, A. A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. **Biofuel Research Journal**, v. 22, p. 962-979, 2019.
- VENDRUSCOLO, T. P. S.; BARELLI, M. A. A.; CASTRILLON, M. A. S.; SILVA, R. S.; OLIVEIRA, F. T.; CORRÊA, C. L.; ZAGO, B. W.; TARDIN, F. D. Correlation and path analysis of biomass sorghum production. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, 2016.
- WIGHT, J. P.; HONS, F. M.; STORLIEN, J. O.; PROVIN, T. L.; SHAHANDEH, H.; WIEDENFELD, R. P. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 593-604, 2012.



*Ministério da
Agricultura e
Pecuária*