



FERNANDA MARIA RODRIGUES CASTRO

**POTENCIAL AGRONÔMICO E ENERGÉTICO DE
HÍBRIDOS DE SORGO BIOMASSA**

LAVRAS – MG

2014

FERNANDA MARIA RODRIGUES CASTRO

**POTENCIAL AGRONÔMICO E ENERGÉTICO DE
GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de
Lavras, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em
Fitotecnia, área de
concentração em Produção
Vegetal, para obtenção do
título de Mestre.

Orientador

Dr. Adriano Teodoro Bruzi

Coorientadores

Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

LAVRAS – MG
2014

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Castro, Fernanda Maria Rodrigues.

Potencial Agronômico e Energético de Híbridos de Sorgo
Biomassa / Fernanda Maria Rodrigues Castro. – Lavras : UFLA,
2014.

80 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2014.

Orientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Bibliografia.

1. Sorghum bicolor. 2. Biomassa. 3. Bioenergia. 4. Fonte
alternativa. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

FERNANDA MARIA RODRIGUES CASTRO

**POTENCIAL AGRONÔMICO E ENERGÉTICO DE
GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, área de
concentração em Produção Vegetal,
para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de dezembro de 2014.

Dr. Adriano Teodoro Bruzi UFLA

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella EMBRAPA – CNPMS

Dr. Wagner Pereira Reis UFLA

Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

LAVRAS - MG
2014

A minha mãe Dalva, por todo amor e carinho, pela fé e orações, pelo companheirismo e cuidado, sendo mãe, avó e amiga.

Ao meu pai Fernando, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me guiando.

Aos meus irmãos Samuel e Saulo, por serem tão especiais e compartilharem comigo as alegrias e as tristezas da vida.

A minha Dindinha (in memoriam), que me amou incondicionalmente como filha e sempre foi referência de vida e simplicidade.

Em especial, a minha filha Catarina, que com seu sorriso e jeitinho me conquista mais a cada dia e me faz ir além.

DEDICO AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta etapa vencida e por todas as bênçãos e graças recebidas.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Embrapa Milho e Sorgo pela parceria e contribuição para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e a FAPEMIG pelo apoio financeiro para condução do experimento.

Ao professor Dr. Adriano Bruzi pela amizade, paciência, compreensão e ensinamentos, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. José Airton Rodrigues Nunes e Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade pela coorientação, ensinamentos e amizade.

Ao pesquisador Rafael Augusto Costa Parrella, pela grande contribuição para realização deste trabalho.

Ao professor Paulo Fernando Trugilho do Departamento de Ciências Florestais, pela contribuição e disponibilidade para a realização das análises laboratoriais, como também aos técnicos dos Laboratórios da Zootecnia e Engenharia de Alimentos.

Aos funcionários de campo do Departamento de Agricultura.

Aos meus familiares, amigos e amigas que me apoiaram e torceram por mim.

Agradeço a todos os colegas que participaram da realização deste trabalho, direta e indiretamente, de modo especial ao Maurício.

RESUMO

O sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] apresenta-se como interessante matéria-prima para produção de bioenergia, por sua versatilidade, por ser renovável e apresentar baixo custo de produção. Neste trabalho objetivou-se identificar genótipos de sorgo biomassa que apresentem maior potencial agrônomo e energético; e também estudar a associação fenotípica entre caracteres agrônomo e tecnológicos nos híbridos sob teste. Foram implantados experimentos em Lavras, Uberlândia e Sete Lagoas, onde foram avaliados 16 genótipos de sorgo biomassa, sendo 14 destes, híbridos sensíveis ao fotoperíodo e duas cultivares, como testemunhas, insensíveis ao fotoperíodo. O delineamento experimental utilizado foi o látice triplo 4 x 4, sendo as parcelas formadas por quatro fileiras de 5,0 m lineares. As características morfoagronômicas avaliadas para os três locais foram: dias para florescimento (DPF), altura de planta (AP), número de colmos (NC) e produção de massa verde (PMV). No experimento conduzido em Lavras, também foram avaliados os caracteres agrônomo diâmetro de colmos (DC) e produção de massa seca (PMS); além dos caracteres tecnológicos: poder calorífico superior (PCS), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido

(FDA). A precisão experimental variou de baixa a alta. Houve variação entre os locais e entre os genótipos avaliados para todos os caracteres. A interação locais x genótipos foi significativa somente para o caráter AP que variou de 2,01 m, para a testemunha BRS655, a 3,84 m para o híbrido BRS716. Os híbridos apresentaram maiores médias em relação às testemunhas para todos os caracteres. As médias dos caracteres avaliados em Lavras e Sete Lagoas foram maiores do que as médias observadas em Uberlândia, devido à diferença na época de plantio. Não foram observadas correlações fenotípicas entre as variáveis tecnológicas e agronômicas dos genótipos avaliados. Há correlação entre os caracteres agronômicos altura de plantas, dias para florescimento e número de colmos no acúmulo de massa verde e, conseqüentemente de massa seca. Os híbridos de sorgo biomassa, sensíveis ao fotoperíodo, quando comparados com híbridos comerciais de sorgo forrageiro, insensíveis ao fotoperíodo, apresentam uma produção média de 34 t ha⁻¹ de matéria seca, com 62% de umidade e poder calorífico superior médio de 4.400 Kcal/Kg. Podendo assim ser considerado uma matéria-prima com potencial agrônômico e energético para a produção de bioenergia.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Bioenergia. Biomassa. Fonte alternativa.

ABSTRACT

The biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] presents itself as an interesting raw material for biofuel production because its versatility, low cost production and because it is renewable. In this study aimed to identify sorghum biomass genotypes with the greatest potential agronomic and energy, and also study the phenotypic association between agronomic and technological properties in hybrids under test. The study was conducted in Lavras, Uberlândia and Sete Lagoas where 16 genotypes of sorghum biomass were evaluated, being 14 of them sensitive hybrids to photoperiod and two cultivars, as witnesses, insensitive to photoperiod. The experimental design was a triple lattice 4 x 4, with plots formed by four linear rows of 5.0 m. The morphoagronomic characteristics evaluated for the three sites were: days to flowering (FLOW), plant height (PH), number of stems (NS) and green matter production (GMP). In the experiment conducted in Lavras, also were evaluated the agronomic traits stem diameter (SD) and dry matter production (DMP) besides the technological

traits: higher calorific value (HCV), crude fiber (CF), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). The experimental precision ranged from low to high. There was a variation among the sites and genotypes evaluated for all characters. The interaction between sites x genotypes was significant only for the PH character, which ranged from 2.01 m to the witness BRS655 to 3.84 m to the hybrid BRS716. The hybrids had higher averages in relation to the witness for all characters. The average of the characters evaluated in Lavras and Sete Lagoas were higher than the average observed in Uberlândia, due to the difference in planting time. Phenotypic correlations were not observed between technological and agronomic variables of the genotypes tested. There is a correlation between the agronomic traits, plant height, days to flowering and number of stems in the accumulation of green matter and consequently dry matter. Sorghum biomass hybrids, sensitive to photoperiod, when compared with commercial hybrids of forage sorghum, insensitive to photoperiod, have an average production of 34 t ha⁻¹ dry matter with 62% humidity and higher calorific value of 4.400 Kcal/Kg. Therefore, it can be regarded as a raw material with agronomic and energetic potential for the bioenergy production.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Bioenergy. Biomass. Alternative source.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Poderes caloríficos superiores (PCS em Kcal.Kg-1), de diferentes biomassas vegetais, obtidos por diversos autores. (1) Sumner et al. (1983); (2) Andrade (1961), (3) Arola (1976), (4) Brito (1986); (5) Atchison (1977).....	27
Tabela 2 Relação dos genótipos avaliados no experimento.....	35
Tabela 3 Resumo da análise de variância dos caracteres agrônômicos diâmetro de colmos (DC, mm), massa seca (MS, %) e produção de massa seca (PMS, t ha ⁻¹) em Lavras-MG e análise de variância conjunta dos	

	caracteres agronômicos altura de plantas (AP, m), número de colmos por metro linear (NC), produção de massa verde (PMV, t ha ⁻¹) e dias para florescimento (DPF, dias) relativo à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, Sete Lagoas-MG e Uberlândia-MG na safra 2013/2014.....	47
Tabela 4	Valores médios para produção de massa verde (PMV, t ha ⁻¹), dias para florescimento (DPF, dias), altura de plantas (AP, m) e número de colmos por metro linear (NC) relativos à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, Sete Lagoas-MG e Uberlândia-MG, na safra 2013/2014.	48
Tabela 5	Resumo da análise de variância dos caracteres tecnológicos poder calorífico superior (PCS, Kcal/Kg), fibra em detergente neutro (FDN, %), fibra em detergente ácido (FDA, %) e fibra bruta (FB, %), relativo à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, na safra 2013/2014.	55
Tabela 6	Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_{xy}^2) de Pearson entre caracteres para os caracteres altura do colmo em m (AP), número de colmos por metro linear (NC), produção de massa verde em ton ha ⁻¹ (PMV), produção de massa seca em ton ha ⁻¹ (PMS), diâmetro de colmos em mm (DC), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), fibra bruta (FB), dias para florescimento em dias (DPF), poder calorífico superior em Kcal/Kg (PCS) avaliadas em genótipos de sorgo biomassa no município de Lavras, Minas Gerais, na safra de 2013/2014.	60

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Temperaturas máximas e mínimas; precipitação acumulada, em decêndio, para os meses de novembro de 2013 a maio de 2014 para o município de Lavras-MG. UFLA, Lavras/2014.....	32
Figura 2	Temperaturas máximas e mínimas; precipitação acumulada, em decêndio, para os meses de novembro de 2013 a maio de 2014 para o município de Sete Lagoas-MG.INMET/2014.....	33
Figura 3	Temperaturas máximas e mínimas; precipitação acumulada, em decêndio, para os meses de março de 2014 a junho de 2014 para o município de Uberlândia-MG.INMET/2014.	34
Gráfico 1	Média geral para o caráter DC dos híbridos e das testemunhas avaliadas no município de Lavras na safra 2013/2014.....	52
Gráfico 2	Médias dos genótipos para o caráter PMS, avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.	53
Gráfico 3	Médias dos genótipos para o caráter MS (%), avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.	54
Gráfico 4	Média geral para o caráter PCS dos híbridos e das testemunhas avaliadas no município de Lavras na safra 2013/2014.....	56
Gráfico 5	Média geral dos caracteres tecnológicos FDN e FB para as testemunhas e os híbridos avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. .	57
Gráfico 6	Médias dos genótipos para o caráter tecnológico FDA, avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. Médias que apresentam a	

mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 A cultura do sorgo no Brasil: histórico, importância e aspectos econômicos.....	18
2.2 Caracterização da planta de sorgo.....	20
2.2.1 Tipos de sorgo	21
2.3 A cultura do sorgo como potencial energético	26
2.4 Associação entre caracteres do sorgo biomassa.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Locais de condução dos experimentos.....	31
3.2 Genótipos avaliados.....	34
3.3 Planejamento e condução dos experimentos.....	35
3.4 Caracteres fenotípicos avaliados em campo dos genótipos de sorgo..	36
3.5 Caracteres tecnológicos avaliados em laboratório dos genótipos de sorgo	37

3.6 Análise estatística	42
4 RESULTADOS	45
4.1 Caracteres morfoagronômicos dos genótipos de sorgo em Lavras, Sete Lagoas e Uberlândia.....	45
4.2 Caracteres tecnológicos dos genótipos de sorgo em Lavras	54
4.3 Correlações fenotípicas entre as variáveis morfoagronômicas e tecnológicas.....	58
5 DISCUSSÃO	61
5.1 Caracteres morfoagronômicos	61
5.2 Caracteres tecnológicos	67
5.3 Correlações fenotípicas.....	70
6 CONCLUSÃO	71
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
APÊNDICE	80

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica em nosso país em decorrência do avanço demográfico e industrial, além da preocupação com questões ambientais principalmente relacionadas às mudanças climáticas e suas consequências para a geração e fornecimento de eletricidade à população, fez com que em 2004 fosse criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). O objetivo foi aumentar a participação da energia elétrica produzida com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) promovendo a diversificação da Matriz Energética Brasileira. Assim, garantindo a segurança no sistema de abastecimento, além de valorizar as características e potencialidades regionais e locais.

A partir desse momento houve um grande destaque para as chamadas biomassas dedicadas, que são aquelas cultivadas com a finalidade de atender ao mercado de biocombustão como matéria-prima para a geração sustentável de energia. Nesse contexto, o sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench], é o exemplo de uma cultura potencialmente energética. Algumas características a tornam uma forte candidata a ser uma das culturas mais utilizadas para geração de energia, porém somente nas últimas décadas, é que foram investidos recursos em pesquisas para o melhoramento de híbridos específicos para esta finalidade, chamados de sorgo biomassa (MONK; MILLER; MCBEE, 1984).

Dentre os tipos de sorgo, o biomassa, possui a particularidade de ser sensível ao fotoperíodo, o que faz com que este tenha um maior período vegetativo e conseqüentemente maior produção de massa verde e massa seca. E, além disso, quando comparado a outras culturas que possuem potencial energético, ele se destaca por atender às necessidades de mercado, como: baixo custo de implantação, ciclo curto, ampla adaptabilidade; é uma cultura

totalmente mecanizável, apresenta baixa umidade e alto poder calorífico em caldeiras. Sendo assim, o plantio de culturas energéticas, como o sorgo biomassa, em áreas com baixo potencial para a produção de alimentos, tem se tornado uma ótima opção para os agricultores como forma de aumentar sua capacidade de produção e diversificar o seu negócio. O sorgo biomassa, também pode ser utilizado para a obtenção do etanol lignocelulósico ou de segunda geração.

Como muitas características são levadas em consideração no processo seletivo realizado nos programas de melhoramento dos genótipos para a alta produção de biomassa, é importante salientar que as correlações entre as características podem influenciar positiva ou negativamente na seleção e, portanto, devem ser avaliadas a fim de contribuir na orientação das estratégias a serem adotadas para identificação dos melhores ideótipos. As estimativas de correlações permitem avaliar o comportamento de uma característica quando se realiza a seleção em outra correlacionada, ou seja, implica na viabilidade de se promover a seleção em uma característica de fácil mensuração, visando obter ganhos em outra de difícil avaliação ou de baixa herdabilidade (CARVALHO; CRUZ, 1996).

Diante do exposto, neste trabalho objetivou-se identificar híbridos de sorgo biomassa que apresentem maior potencial agrônomo e energético; e estudar as correlações fenotípicas existentes entre os caracteres agrônomo e tecnológicos dos híbridos sob teste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do sorgo no Brasil: histórico, importância e aspectos econômicos

Como ocorre em diversas culturas, a origem do sorgo se perdeu em épocas remotas, possuindo alguns indícios de que seja originado da África Oriental (Etiópia e/ou Sudão), entre 5 a 7 mil anos atrás, difundido por nativos africanos que migravam por vários países (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002; WALL; ROSS, 1975). No Brasil a introdução do sorgo ocorreu no século XX. No início foi utilizado em sucessão aos cultivos de verão, principalmente como substituto do milho em seus vários usos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MILHO E SOJA - EMBRAPA, 2010; VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

Quando se consideram todos os tipos de sorgo, verifica-se que esta cultura ocupa, entre os cereais, o quinto lugar em área plantada no mundo, sendo superado apenas pelo trigo, arroz, milho e cevada (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

No Brasil, a cultura do sorgo tem sido utilizada não somente para produção de grãos e forragem para alimentação animal, mas também como fonte de energia renovável através da produção de etanol lignocelulósico e geração de energia térmica, elétrica e mecânica através da queima da biomassa (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2013).

Por ser uma cultura muito versátil, sua importância ganhou destaque por apresentar alta tolerância a solos de baixa fertilidade, déficits hídricos e a estresses ambientais (EMBRAPA, 2010). Foi introduzido na região Nordeste como produto que salvaria a produção agropecuária daquela região, porém, apesar de ser uma cultura com características rústicas necessitou de boas práticas culturais para atingir altas produtividades (EMBRAPA, 2010).

O aumento do cultivo do sorgo no Brasil foi significativo com o passar dos anos e três fatores contribuíram fortemente para isso: o primeiro está relacionado à criação, no início dos anos noventa, do Grupo Pró-Sorgo, que teve como objetivo o fomento da produção de sorgo no Brasil, com maior divulgação

das potencialidades da cultura e suas modernas tecnologias; o segundo está relacionado ao uso do sistema de produção de plantio direto nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, utilizando o sorgo como cultura de rotação para o sistema; e o terceiro diz respeito à crescente importância da safra de inverno (segunda safra ou safrinha) na região central do Brasil, onde o sorgo se destaca por apresentar maior resistência ao estresse hídrico do que o milho (EMBRAPA, 2010).

2.2 Caracterização da planta de sorgo

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta que pertence à família Poaceae e gênero *Sorghum*, que é composto por gramíneas de rápido crescimento que apresentam fotossíntese C₄ (CARRILLO et al., 2014; SABALLOS, 2008).

É uma planta monoica, com flores perfeitas e é considerada uma espécie autógama. A inflorescência do sorgo é do tipo panícula, com eixo central ou raquis, que possui diversas formas, de acordo com as diferentes variedades. O fruto é do tipo cariopse e sua composição é bastante parecida com a do milho, podendo apresentar diferentes teores de tanino, uma substância que confere resistência ao ataque de pássaros (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

As plantas de sorgo existentes podem conter caules secos ou suculentos, com uma altura que varia de 0,5 a 6 metros, divididos em nós e entre nós, podendo ou não apresentar perfilhamento e diâmetro variável (5 a 30 mm) (SABALLOS, 2008; VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

O sistema radicular do sorgo é extenso, fibroso e com grande número de pelos absorventes, podendo chegar a uma profundidade de até 1,5 m (sendo que 80% das raízes ficam localizadas até 30 cm no solo), em extensão lateral pode

alcançar 2,0 m. Essas características conferem à planta uma maior resistência à seca (EMBRAPA, 2010).

É considerada uma cultura de baixo custo de implantação com capacidade de mecanização, o que facilita a colheita e logística do produto. Quando comparado ao milho [*Zeamays* L.], o sorgo consome 30-50% menos água, significativamente menos pesticidas e outros insumos químicos, além de otimizar o uso da terra por ser possível sua implantação em terras marginais (CARRILLO et al., 2014).

2.2.1 Tipos de sorgo

Com a evolução e a domesticação houve agrupamento dos tipos de sorgo de acordo com os caracteres agronômicos, principais produtos e usos, assim como também por suas características distintas (WALL; ROSS, 1975). Os tipos de sorgo são:

a) **Sorgo granífero:** representado por cultivares que possuem porte baixo e grãos grandes que se separam das glumas com maior facilidade quando comparado aos outros tipos de sorgo (WALL; ROSS, 1975).

O sorgo granífero, é o tipo de sorgo que possui maior importância econômica no Brasil, é utilizado principalmente como substituto do milho em rações animais, principalmente para aves e suínos, proporcionando uma redução nos custos de produção, em virtude de o preço do sorgo ser de 20% a 30% inferior ao do milho (COELHO et al., 2002).

Outra forma de utilizar os grãos de sorgo é através da produção de farinha, que pode substituir parcialmente a farinha de trigo na confecção de vários produtos sem alterar significativamente a qualidade, principalmente por

apresentar cor branca e não alterar a cor e o sabor dos produtos finais (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

O aumento na produção de sorgo granífero no Brasil se deu principalmente pelo aumento do consumo *per capita* de proteína animal. Sobretudo pelo consumo da carne de frango, provocando crescimento no consumo de rações balanceadas e devido à valorização do sorgo pelas indústrias de rações (COELHO et al., 2002).

Atualmente, segundo dados apresentados pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2014), a área de produção de sorgo granífero apresentou queda nas regiões Sul e Nordeste e crescimento nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte, sendo hoje cultivada no Brasil uma área de 700 mil hectares. A participação brasileira no comércio externo deste produto é de aproximadamente 2% do total comercializado internacionalmente.

b) Sorgo forrageiro: o sorgo como planta forrageira é muito utilizado como silagem na alimentação de bovinos. Apresenta características fenotípicas que determinam facilidade de plantio, manejo, colheita e armazenamento, alto valor nutritivo, alta concentração de carboidratos solúveis que garantem uma adequada fermentação láctica, bem como altos rendimentos de massa seca por unidade de área (NEUMANN et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2005).

Por essas razões, a importância do sorgo como uma cultura forrageira tem crescido em diversas regiões do mundo (TEIXEIRA et al., 2014). No Brasil ocupa aproximadamente 40% do total da área cultivada de sorgo, principalmente devido à expansão da produção de leite e confinamento de bovinos (COELHO et al., 2002).

Com o intuito de expandir a utilização do sorgo como forragem, melhoristas têm trabalhado para desenvolver híbridos que apresentem maior produtividade e melhor qualidade do produto, para que este supra as

necessidades nutricionais dos ruminantes de forma adequada (QU et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2014). Alguns híbridos comerciais utilizados são BRS655 e Volumax. O híbrido BRS655 é adaptado para produzir forragem em diversos sistemas de produção, principalmente por possuir estabilidade de produção, alta resistência à estiagem, alta qualidade de forragem e ainda apresentar a característica de resistência ao acamamento, que confere altas produtividades de massa com um custo de produção significativamente reduzido (EMBRAPA, 2009). O híbrido Volumax, também muito utilizado para silagem, se destaca por ser o maior produtor de massa verde da categoria, por possuir uma excelente sanidade de planta e de colmo e rebrota vigorosa.

c) **Sorgo sacarino:** grupo composto por cultivares que apresentam caules longos, suculentos, doces e que de modo geral possuem menor produção de grãos que o tipo granífero (WALL; ROSS, 1975).

O sorgo sacarino possui ciclo curto (100 a 130 dias), seu cultivo é realizado a partir de sementes, seu manejo pode ser totalmente mecanizado e apresenta grande eficiência no uso da água (MOREIRA et al., 2013; SORDI, 2011; VON PINHO; VASCONCELOS, 2002).

Atualmente esse tipo de sorgo tem ganhado destaque relevante na agricultura, principalmente por ser considerado uma alternativa bioenergética, pois apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana-de-açúcar, podendo ser utilizado como complemento na produção de etanol. Seu ciclo de cultivo e colheita fica compreendido justamente no período da entressafra da cana, especialmente, na região Centro-Sul, o que contribui para a diminuição da volatilidade de oferta e de preços, típica da entressafra da cana-de-açúcar (GIACOMINI et al., 2013).

d) Sorgo biomassa: apresenta grande quantidade de massa verde, caule fibroso e porte alto (EMBRAPA, 2014). Possui a particularidade de ser mais sensível ao fotoperíodo, o que possibilita a ampliação do ciclo vegetativo e concomitantemente aumenta a produção de biomassa por hectare/ciclo, em comparação com as cultivares insensíveis ao fotoperíodo (PARRELA et al., 2010; PEREIRA et al., 2012). Outras vantagens são: cultura totalmente mecanizável (do plantio à colheita), estabelecida por sementes; sistemas de produção agrícola conhecidos, com ciclo curto (5 a 6 meses); tolerância à seca; é semeado na primavera, que coincide com o início do período chuvoso e a colheita é realizada durante a entressafra da cana, reduzindo o período de ociosidade das termelétricas por falta de matéria-prima para produção de energia (PARRELA et al., 2010).

O sorgo biomassa é ideal como matéria-prima energética devido a sua versatilidade como fonte de amido, açúcar e lignocelulose, fazendo com que este ocupe uma posição única como fonte de biomassa adaptável, apto à finalidade tanto para obtenção de produtos tradicionais e avançados, biocombustíveis e tecnologias, bem como para os mercados emergentes, como a energia verde e produção de químicos renováveis (CARRILLO et al., 2014).

Pesquisas voltadas para obtenção de variedades que apresentem maior produção de biomassa estão sendo realizadas no Brasil, como o programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo que possui acessos genéticos de sorgo de alta biomassa. Em média, podem chegar a mais de 30 t ha⁻¹ de matéria seca, sendo que alguns materiais experimentais do programa de melhoramento já apresentam produtividade acima de 50 t ha⁻¹ de matéria seca (PARRELLA et al., 2010, 2011).

Segundo Rooney e Aydin (1999), o controle da sensibilidade ao fotoperiodismo e de maturação (indução de floração) em sorgo está associado ao efeito de dois alelos em seis *loci*: Ma1, ma1; Ma2, ma2; Ma3, ma3; Ma4, ma4;

Ma5, ma5; e Ma6, ma6. Os *loci* Ma1 a Ma4 controlam o ciclo, enquanto os *loci* Ma5 e Ma6 são responsáveis pela sensibilidade ao fotoperiodismo. Os genótipos Ma5Ma5ma6ma6; ma5ma5Ma6Ma6 são insensíveis a fotoperíodo e florescem entre 60 e 70 dias após germinação e os híbridos derivados de cruzamentos entre linhagens com estes genótipos são sensíveis (Ma5ma5Ma6ma6) ao fotoperíodo e têm indução floral somente em períodos em que os dias apresentam menos de 12 horas e 20 minutos de luz. Portanto, para se obter híbridos sensíveis, foi utilizado um conjunto de linhagens macho estéreis insensíveis de porte baixo e ciclo curto, como fêmeas, cruzadas com 3 linhagens restauradoras de fertilidade sensíveis ao fotoperíodo, as quais são utilizadas como variedades (PARRELLA et al., 2010, 2011).

Por se tratar de uma nova tecnologia, é necessário avaliar e caracterizar biomassas vegetais visando ao fornecimento sustentável de matéria-prima para produção de biocombustível lignocelulósico, também denominada tecnologia de segunda geração de biocombustíveis (PARRELLA et al., 2010, 2011). Além disso, é interessante avaliar o poder calorífico da biomassa, devido ao crescimento de sua utilização como geradora e cogeneradora de energia térmica, elétrica e mecânica (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010).

e) **Sorgo vassoura:** apresenta raquis resistente, porte alto, colmos geralmente finos, além de grãos pequenos, caules secos e casca dura (VON PINHO; VASCONCELOS, 2002; WALL; ROSS, 1975).

Atualmente esse tipo de sorgo é utilizado na fabricação artesanal de vassouras para uso doméstico. A fabricação de vassouras de sorgo em larga escala manteve-se até o surgimento da fibra sintética, quando as vassouras de plástico foram tomando conta do mercado e as fábricas de vassouras de sorgo foram desaparecendo. Porém, hoje esse produto tem sido considerado tecnologia verde e sua demanda tem aumentado (FOLTRAN, 2012). Com isso, tornou-se

uma atividade alternativa para geração de renda, tanto nos sistemas de agricultura familiar como para artesãos fabricantes de vassouras, sendo que essas duas na maioria das vezes são integradas (FARIAS et al., 2000).

2.3 A cultura do sorgo como potencial energético

Devido à crise mundial de energia, houve um aumento no interesse em culturas dedicadas à produção de biocombustíveis e cogeração de energia, resultante da queima da biomassa para produção de eletricidade (DAMASCENO et al., 2013).

Biomassa do ponto de vista de geração de energia são os derivados recentes de organismos vivos utilizados como combustíveis ou para a sua produção, excluindo os tradicionais combustíveis fósseis (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010). Suas vantagens são: baixo custo, é renovável, permite o reaproveitamento de resíduos e é menos poluente que outras formas de energias (MAMEDES; RODRIGUES; VANISSANG, 2010). Além disso, a utilização da fibra da biomassa como matéria-prima para fins energéticos pode ser feita segundo quatro plataformas básicas: combustão direta para a produção de energia térmica (vapor) e elétrica (cogeração); hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemiceluloses) para obtenção de açúcares fermentáveis e produção de combustíveis líquidos; gaseificação para produção de gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio) ou geração de biogás; e pirólise para produção de bio-óleo ou carvão/coque.

No estudo de biomassas vegetais como matéria-prima para produção de energia, é necessário caracterizar os seus poderes caloríficos que são caracterizados pela medida da quantidade de energia que o material combustível libera quando queimado totalmente. Para combustíveis sólidos e líquidos normalmente é utilizada a medida de cal.g^{-1} ou Kcal.Kg^{-1} .

A medida do poder calorífico é muito importante na avaliação energética de qualquer combustível e pode ser obtida a partir do Poder Calorífico Superior, sendo este definido pela Norma NBR8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984). Considera-se como sendo o número de unidades de calor liberado, pela combustão de unidade de massa de uma substância, em bomba calorimétrica, em atmosfera de oxigênio, a volume constante e sob condições específicas, de modo que toda água proveniente da combustão esteja no estado líquido.

O poder calorífico de diversas biomassas já foi estudado por vários autores, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 Poderes caloríficos superiores (PCS em Kcal.Kg-1), de diferentes biomassas vegetais, obtidos por diversos autores. (1) Sumner et al. (1983); (2) Andrade (1961), (3) Arola (1976), (4) Brito (1986); (5) Atchison (1977).

Biomassas	PCS	Biomassas	PCS
Painço (1)	4.178	Casca de pecan (1)	4.345
Colmo de sorgo (1)	4.273	Laranja (fruto) (1)	4.464
Folhas de sorgo (1)	4.631	Pecan (fruto) (1)	4.536
Capim-napier (1)	4.369	"Grape fruit" (1)	4.464
Gramma-bermuda (1)	4.584	Cone de <i>Pinus</i> spp. (1)	4.870
<i>Pinus</i> spp. (1)	4.249	Palha de <i>Pinus</i> spp. (1)	5.348
Pêssego (fruto) (1)	4.608	<i>Pinus strobus</i> (2)	5.285
<i>Eucalyptus saligna</i> (3)	4.670	<i>Pinus ponderosa</i> (2)	5.000
<i>Eucalyptus robusta</i> (3)	4.774	<i>Eucalyptus tereticornis</i> (4)	8.248
	4.555 a		4.665 a
Madeira dura (5)	4.665	Madeira mole (5)	5.550
			4.445 a
Palha de cereal (5)	4.445	Bagaço de cana (5)	4.665

A planta de sorgo biomassa possui muitas folhas, caule fibroso e grande porte, apresentando uma capacidade de fornecer energia, que é medida pelo poder calorífico superior, que chega a 4.000 Kcal/Kg de matéria seca, que é valor considerado alto para os estudos energéticos (EMBRAPA, 2014). Ele é considerado destaque entre as culturas que apresentam alto potencial de produção de biomassa (MONK; MILLER; MCBEE, 1984). A produção de energia a partir de toda a planta ou de suas partes (grãos, biomassa ou seiva) resulta porque o sorgo é uma das plantas mais fotossinteticamente eficientes do mundo, além de possuir um alto potencial de rendimento, facilidade de cultivo, ampla adaptabilidade e reprodução por sementes, tornando-se uma espécie muito atraente para a exploração de energia (MILLER; MCBEE, 1993).

Atualmente a cultura pode ser utilizada como matéria-prima para obtenção de etanol de segunda geração, produzido a partir de biomassa (lignocelulose), para geração e cogeração de energia (DAMASCENO et al., 2013; VIRMOND, 2011).

De acordo com pesquisadores da Embrapa, estudos estão sendo realizados, a fim de avaliar a viabilidade do uso das plantas de sorgo como alternativa ao uso da lenha de eucalipto, através da biocombustão, para a geração de termoenergia em caldeiras, principalmente visando à secagem de grãos (EMBRAPA, 2014). Sua vantagem em substituição ao eucalipto é que este demora de três a quatro anos para ser cortado, enquanto o sorgo é colhido no período de cinco a oito meses após o plantio e, além disso, sua produtividade é superior à do eucalipto. Nesse caso, 50 toneladas por hectare de matéria seca comparado com 20 toneladas por hectare/ano em plantios de eucalipto voltados para este fim (EMBRAPA, 2014).

Quando se compara com a cana-de-açúcar, o sorgo biomassa possui a vantagem de atingir 50% de umidade enquanto ainda está na lavoura. Portanto,

diferentemente da cana, que demanda medidas para estocagem e tratamento do bagaço, o sorgo biomassa pode ser colhido e levado diretamente à caldeira ou também ser armazenado (UNICA, 2014).

Culturas dedicadas à produção de bioenergia, incluindo o sorgo, não foram melhoradas especificamente para este fim, o que impede o seu total aproveitamento (VERMERRIS et al., 2007). Por isso, para o melhoramento de sorgo visando à produção de bioenergia, é importante identificar, caracterizar e quantificar a variabilidade genética disponível, bem como definir os fenótipos que sejam favoráveis para a melhor utilização deste material (DAMASCENO et al., 2013).

O sorgo possui uma gama de recursos genéticos que podem auxiliar as estratégias de melhoramento clássico e biotecnológicas para torná-lo uma cultura dedicada à produção de bioenergia. Por ser uma espécie diploide de genoma relativamente pequeno e de alta endogamia, o sorgo está se tornando uma gramínea modelo para análises genômicas funcionais e estruturais, além de já possuir genoma com sequência completa publicamente disponível (DAMASCENO, 2011).

Acredita-se que a maximização da produção de biomassa por unidade de área plantada será um dos principais focos dos programas de melhoramento voltados à produção de bioenergia, como também aumento do conteúdo de lignina visando poder calorífico da biomassa para geração ou cogeração de energia, denominada bioeletricidade, e redução para produção de etanol de segunda geração (DAMASCENO, 2011).

2.4 Associação entre caracteres do sorgo biomassa

Em programas de melhoramento genético, o conhecimento da correlação entre caracteres é importante quando se deseja fazer a seleção simultânea de várias características ou quando um caráter de interesse apresenta baixa herdabilidade (CARVALHO et al., 1999).

O manuseio de vários caracteres é um grande desafio, pois a maioria dos caracteres pode estar correlacionada em direções diferentes, com isso a quantificação e a interpretação da magnitude de uma correlação pode resultar em equívocos na estratégia de seleção (CARVALHO et al., 1999; RAMALHO et al., 2012).

O grau de associação entre duas variáveis é medido por um parâmetro estatístico que possui valores de correlação que variam de -1 a +1. Quando a correlação é positiva, os caracteres variam na mesma direção; quando a correlação é negativa, os caracteres são inversamente relacionados e quando não possui associação linear a correlação é nula (RAMALHO et al., 2012).

A correlação genética tem sido aplicada com frequência em programas de melhoramento de plantas por permitir o conhecimento das alterações de um caráter “X”, em intensidade e sentido, pela seleção praticada no caráter “Y” (RAMALHO et al., 2012). Essa interação pode ser decorrente da pleiotropia e/ou ligação dos genes que controlam os caracteres (FALCONER; MACKAY, 1996).

Em experimento realizado por Cunha e Lima (2010) estimou-se a correlação com o objetivo de avaliar o desempenho produtivo de 29 genótipos de sorgo forrageiro em algumas características agronômicas e estimar os parâmetros genéticos para essas características. Nesse estudo verificou-se a ocorrência de correlações genotípicas e fenotípicas, levando em consideração as características de: matéria verde, matéria seca, altura da planta, sobrevivência e floração inicial. Como conclusão os autores sugerem que como há alta variabilidade genética entre os genótipos para a maioria das características, é

possível obter ganho genético por seleção direta, além de destacar que a altura da planta pode ser utilizada como critério de seleção para melhoria indireta da produção de matérias verde e seca.

Lombardi et al. (2013), visando estimar correlações fenotípicas e ambientais entre caracteres agroindustriais de sorgo sacarino, avaliaram 45 genótipos para as características: altura de planta (m); diâmetro do colmo (mm); peso da panícula (Kg); número de dias para florescimento; teor de fibra no colmo (Fibra); teor de sólidos solúveis totais (BRIX, %caldo); teor de sacarose (Pol C, %cana); teor de açúcares totais recuperáveis (ATR); tonelada de brix por hectare (TBH); tonelada de colmo por hectare (TCH) e tonelada de pol por hectare (TPH). Como principal conclusão do estudo, foi verificado que o TBH e TPH, que são caracteres alvo do melhoramento apresentaram correlações fenotípicas positivas e de magnitude alta, o que significa que a seleção está sendo realizada na direção correta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em três locais do estado de Minas Gerais no ano agrícola de 2013/2014:

a) Área experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém da Universidade Federal de Lavras-UFLA localizada na cidade de Lavras a 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste. O município de Lavras está situado ao sul do estado, apresenta temperatura média anual de 19,4°C e a precipitação pluviométrica média anual de 1.529,7mm (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

O experimento foi implantado em campo no dia 29 novembro de 2013 e a colheita foi realizada no dia 20 de maio de 2014. Os dados climatológicos durante o período de condução do experimento estão representados na Figura 1.

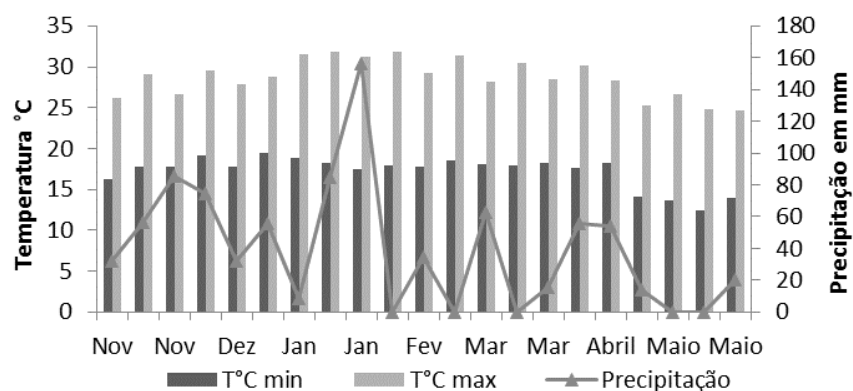


Figura 1 Temperaturas máximas e mínimas; precipitação acumulada, em decêndio, para os meses de novembro de 2013 a maio de 2014 para o município de Lavras-MG. UFLA, Lavras/2014.

b) Área experimental da Embrapa Milho e Sorgo no município de Sete Lagoas, região central do estado a 19°27' de latitude sul e 44°14'49" de longitude oeste. A região apresenta clima ameno com temperatura média anual em torno de 23°C, o período chuvoso vai de outubro a março com índice médio pluviométrico anual de 1.403mm (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2014).

O experimento foi implantado em campo no dia 21 de novembro de 2013 e a colheita foi realizada no mês abril de 2014. Os dados climatológicos durante o período de condução do experimento estão representados na Figura 2.

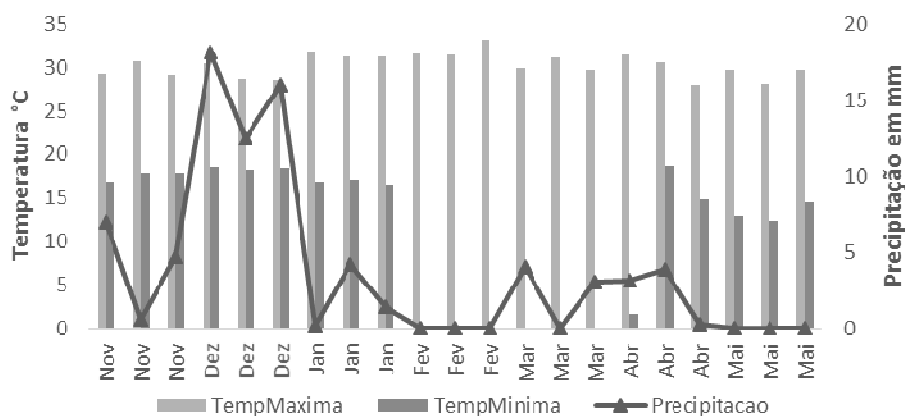


Figura 2 Temperaturas máximas e mínimas; precipitação acumulada, em decêndio, para os meses de novembro de 2013 a maio de 2014 para o município de Sete Lagoas-MG.INMET/2014.

c) Área experimental situada na Fazenda Capim Branco no município de Uberlândia, nas coordenadas geográficas de 18°56'56" de latitude Sul e 48°12'21" de longitude Oeste de Greenwich, região do triângulo mineiro. As condições climatológicas são caracterizadas por um clima tropical de altitude com inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso, com temperatura média de 22°C. A precipitação média anual em Uberlândia está em torno de 1500 mm (INMET, 2014).

O experimento foi implantado em campo em condições de safrinha, na data de 13 de março de 2014, e a colheita foi realizada em 26 de junho de 2014. Os dados climatológicos durante o período de condução do experimento estão apresentados na Figura 3.

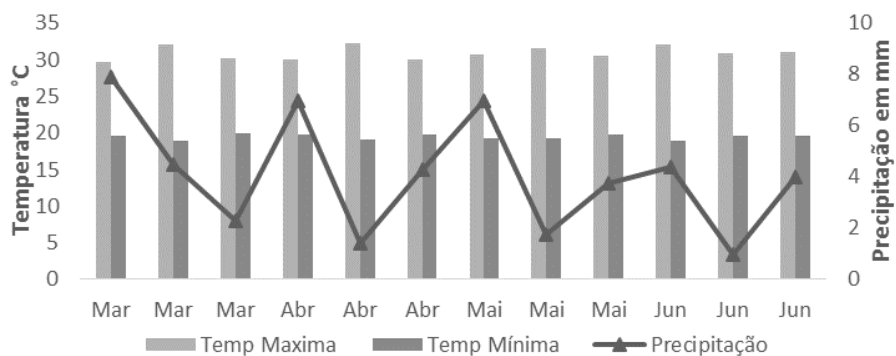


Figura 3 Temperaturas máximas e mínimas; precipitação acumulada, em decêndio, para os meses de março de 2014 a junho de 2014 para o município de Uberlândia-MG.INMET/2014.

3.2 Genótipos avaliados

Foram avaliados 14 genótipos de sorgo, sendo todos eles híbridos sensíveis ao fotoperíodo e duas cultivares comerciais de sorgo forrageiro, como testemunhas, insensíveis ao fotoperíodo, representados na (Tabela 2).

Os materiais utilizados nos experimentos são originados do Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas/MG.

Tabela 2 Relação dos genótipos avaliados no experimento.

GENÓTIPOS	FOTOPERÍODO
CMSXS7012	Sensível
BRS716	Sensível
CMSXS7016	Sensível
CMSXS7021	Sensível
CMSXS7022	Sensível
CMSXS7023	Sensível
CMSXS7024	Sensível
CMSXS7025	Sensível
CMSXS7026	Sensível
CMSXS7027	Sensível
CMSXS7028	Sensível
CMSXS7029	Sensível
CMSXS7030	Sensível
CMSXS7031	Sensível
VOLUMAX	Testemunha - Insensível
BRS655	Testemunha - Insensível

3.3 Planejamento e condução dos experimentos

O plantio foi realizado adotando o sistema de semeadura direta nos municípios de Lavras, Uberlândia e Sete Lagoas. Para o preparo da área experimental foi necessária dessecação prévia com 3 Lha⁻¹ de glifosato. A abertura dos sulcos no solo e a adubação de fundação com 450 Kg ha⁻¹ da formulação 08:28:16 de NPK foram realizadas de forma mecânica e o plantio

realizado de forma manual com densidade de sementeira de 8 plantas/metro linear. Após 20 dias de sementeira foi realizado o desbaste deixando 5 plantas/metro linear. A adubação de cobertura foi realizada em torno de 30 dias após o plantio mediante aplicação de 200 Kg de ureia/ha.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental látice triplo 4 x 4. As parcelas foram constituídas por quatro sulcos de 5,0 m lineares, espaçados em 0,60 m entre si, sendo consideradas apenas as duas linhas centrais, como área útil.

O controle químico de plantas daninhas foi realizado como uso de herbicida à base de Atrazina (3,0L/ha) complementado pelo controle mecânico, quando necessário.

3.4 Caracteres fenotípicos avaliados em campo dos genótipos de sorgo

As características morfoagronômicas avaliadas foram (PARRELLA et al. 2011):

- a) **Dias para florescimento (DPF):** número de dias da sementeira até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela;
- b) **Altura de plantas (AP):** altura média, em metros, das plantas de cada parcela, medidas da superfície do solo ao ápice da panícula;
- c) **Diâmetro do colmo (DC):** medida realizada com um paquímetro digital na base do colmo de cinco plantas aleatórias dentro da parcela;
- d) **Número médio de colmos por metro linear (NC):** contagem do número de plantas das linhas úteis da parcela, dividido pelo comprimento da linha em metros lineares;
- e) **Produção de massa verde total (PMV):** determinada em Kg/parcela através da pesagem de todas as plantas (completas) da área útil de cada parcela,

colhidas na maturidade fisiológica do grão. Os dados de PMV foram convertidos para $t\ ha^{-1}$, utilizando-se regra de três.

f) **Produção de massa seca total (PMS):** determinada pela diferença de peso existente entre amostras de material recém colhido e após ser submetido à secagem em estufa a $60^{\circ}C$. Os dados de PMS foram convertidos para $t\ ha^{-1}$, utilizando-se regra de três.

Nos experimentos conduzidos nos municípios de Sete Lagoas e Uberlândia foram avaliados somente os caracteres dias para florescimento, número de colmos por metro linear, altura de plantas e produção de massa verde.

3.5 Caracteres tecnológicos avaliados em laboratório dos genótipos de sorgo

As avaliações tecnológicas foram realizadas nos laboratórios dos Departamentos de Zootecnia, Engenharia de Alimentos e Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras, somente para os genótipos avaliados no município de Lavras.

a) **Determinação da Matéria Seca (MS) Definitiva:** Após o material ser colhido e armazenado em sacos de papel, foi realizada a pré-secagem do material em estufa a $60^{\circ}C$, por aproximadamente 3 a 4 dias. Posteriormente esse material foi retirado da estufa, moído e armazenado em sacos plásticos (SILVA, 1981).

Este material moído foi submetido à secagem definitiva em estufa de $105^{\circ}C$, pesando-se 1g em balança analítica com a aproximação de 0,0001g. Depois de retirar o material da estufa, este foi colocado em dessecador até sua temperatura igualar à do ambiente e foi pesado novamente.

O cálculo utilizado para determinação da matéria seca definitiva foi:

$$\% \text{ de Matéria Seca definitiva: } \frac{\text{Peso da amostra seca} \times 100}{\text{Peso da amostra verde}}$$

A % de umidade foi determinada por:

$$\% \text{ da umidade: } 100 - \% \text{ de Matéria Seca}$$

b) **Fibra Bruta (FB):** Para determinação da FB foram utilizados aproximadamente 0,50g de amostra. Esta amostra foi colocada em tubo micro-Kjeldahl. Foi adicionado à amostra 1 ml de ácido sulfúrico, 20 ml de éter etílico e uma pitada de tri-butil-fosfato (SILVA, 1981).

Depois de adicionar os reagentes o material foi levado ao digestor de fibras (pré-aquecido) e após entrar em ebulição permaneceu no digestor por mais 30min. O material foi retirado ainda quente e filtrado utilizando bomba de vácuo. Após a filtração o material foi colocado em estufa a 105°C para secagem e posteriormente foi retirado, colocado em dessecador e pesado.

O cálculo para determinação da % de FB no material foi:

$$\% \text{ de FB: } \frac{A}{B} \times 100$$

em que:

A: peso da amostra após a digestão, filtração e secagem em estufa a 105°C;

B: peso da amostra antes da digestão (0,50g).

A porcentagem de FB na matéria seca foi determinada pelo cálculo:

$$\% \text{ de FB na MS: } \frac{\% \text{FB} \times 100}{\% \text{ MS}}$$

c) **Fibra em Detergente Neutro (FDN):** Para a determinação de FDN foram utilizados aproximadamente 0,35g de amostra. Primeiramente foi preparada a solução detergente neutro onde para 4 litros de água, pesou-se: 74,44g de EDTA di-sódico; 27,24g de tetra-borato de sódio; 120g de sulfato láurico de sódio; 18,24g de fosfato ácido de sódio (SILVA, 1981).

Foi colocada a amostra em tubo micro-Kjeldahl e adicionado 35ml de solução detergente neutro e 0,5ml de amilase. O tubo foi levado ao digestor de fibras (pré-aquecido) e após entrar em ebulição permaneceu no digestor por mais 60min. O material foi retirado ainda quente e filtrado utilizando bomba de vácuo. O material foi lavado com 20ml de acetona e após a filtração foi colocado em estufa a 105°C para secagem e posteriormente foi retirado, colocado em dessecador e pesado.

O cálculo para determinação da % de FDN foi:

$$\% \text{FDN: } \frac{A^*}{B^*} \times 100$$

em que:

A*: peso da amostra após a digestão, filtração e secagem em estufa a 105°C;

B*: peso da amostra antes da digestão (0,35g).

A porcentagem de FDN na matéria seca foi determinada pelo cálculo:

$$\% \text{ de FDN na MS: } \frac{\% \text{FDN} \times 100}{\% \text{ MS}}$$

d) **Fibra em Detergente Ácido (FDA):** Para a determinação de FDA foram utilizados aproximadamente 0,35g de amostra. Primeiramente foi preparada a solução detergente ácido onde foram adicionados 40g de brometo-cetil-trimetilamônio (CTAB) em 2 litros de ácido sulfúrico 1N (55,6ml/L), previamente padronizado (SILVA, 1981).

Foi colocada a amostra em tubo micro-Kjeldahl e adicionado 35ml de solução detergente ácido. O tubo foi levado ao digestor de fibras (pré-aquecido) e após entrar em ebulição permaneceu no digestor por mais 60min. O material foi retirado ainda quente e filtrado utilizando bomba de vácuo. O material foi lavado com 20ml de acetona e após a filtragem foi colocado em estufa a 105°C para secagem e posteriormente foi retirado, colocado em dessecador e pesado.

O cálculo para determinação da % de FDA foi:

$$\% \text{FDA: } \frac{A^{**}}{B^{**}} \times 100$$

em que:

A**: peso da amostra após a digestão, filtragem e secagem em estufa a 105°C;

B** : peso da amostra antes da digestão (0,35g).

A porcentagem de FDA na matéria seca foi determinada pelo cálculo:

$$\% \text{ de FDA na MS: } \frac{\% \text{FDN} \times 100}{\% \text{ MS}}$$

e) **Poder Calorífico Superior (PCS):** Amostras da planta inteira depois de colhidas e secas, foram moídas e peneiradas em peneira ABNT 70, segundo Norma NBR 8633 da ABNT (1984).

A análise de PCS foi realizada em um calorímetro da marca Parr®, conforme a Norma 8633 da ABNT (1984). A determinação do PCS de cada amostra foi dada pela combustão de uma unidade de massa (0,35g) em bomba calorimétrica, em atmosfera de oxigênio, a volume constante e sob condições específicas. O PCS foi dado em Kcal/Kg e as determinações de PCS foram realizadas em duplicatas por amostra.

f) **Umidade em Base Úmida (U_{bu}):** As amostras foram coletadas do campo e pesadas para determinar o peso de massa úmida em gramas (g), depois foram colocadas na estufa a 60°C por aproximadamente 3 a 4 dias. Essas amostras foram retiradas da estufa, pesadas e foi realizado o cálculo do teor de umidade do material em base úmida conforme a equação:

$$U_{bu}: \frac{MU - MS}{MU} \times 100$$

em que:

U_{bu} : Umidade Base Úmida (%);

MU: Massa Úmida (g);

MS: Massa Seca (g).

3.6 Análise estatística

Primeiramente procedeu-se a análise dos dados por local mediante recuperação da informação interblocos, de acordo com o modelo apresentado a seguir:

$$y_{ijk} = \mu + r_i + b_{(i)j} + g_k + e_{ijk}$$

em que:

y_{ijk} : observação da parcela que recebeu o genótipo i no bloco k dentro da repetição j ;

μ : constante associada a todas as observações;

r_i : efeito fixo da repetição i ;

$b_{(i)j}$: efeito aleatório do bloco i dentro da repetição j ;

g_k : efeito fixo do genótipo k ;

e_{ijk} : erro experimental aleatório associado à observação y_{ijk} .

Para a análise de variância multilocais, foi utilizado o seguinte modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + a_l + r_{i(l)} + b_{(il)j} + g_k + ga_{kl} + e_{ijkl}$$

em que:

y_{ijkl} : observação da parcela do bloco j dentro da repetição i no local l que recebeu o genótipo k ;

μ : constante associada às observações;

$r_{i(l)}$: efeito da repetição i dentro do local l ;

$b_{(il)j}$: efeito do bloco j dentro da repetição i no local l ;

g_k : efeito da linhagem ou híbrido k ;

a_l : efeito do local l ;

ga_{kl} : efeito da interação dos genótipos k com o local l ;

e_{ijkl} : erro experimental associado à y_{ijkl} .

As análises de variância individuais e multilocais foram realizadas com o auxílio do *Proc Mixed* do programa SAS (SAS, 2012).

De posse das médias ajustadas dos genótipos realizou-se o agrupamento pelo teste de Scott-Knott (1974) em nível de 5% de significância no *software* estatístico GENES (CRUZ, 2006).

As estimativas das correlações fenotípicas mensuradas entre os caracteres foram obtidas de acordo com a expressão:

$$r_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sqrt{V_x V_y}}$$

em que:

Cov_{xy} : estimativa da covariância fenotípica entre as variáveis X e Y;

V_x, V_y : são estimativas das variâncias fenotípicas médias das variáveis X e Y, respectivamente.

As análises de correlações foram realizadas com o aporte do pacote estatístico GENES (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Os contrastes das médias foram avaliados utilizando o programa Sisvar (FERREIRA, 2006).

Para avaliação da precisão experimental adotou-se a estimativa da acurácia (RESENDE; DUARTE, 2007), determinada a partir do seguinte estimador:

$$\hat{r}_{gg} = \sqrt{1 - \frac{1}{Fc}}$$

em que:

F_c : é o valor do teste de F para o efeito dos genótipos na análise de variância.

E também se adotou o coeficiente de variação que permite comparações entre variáveis distintas e fornece uma ideia de precisão dos dados (GARCIA, 1989; PIMENTEL-GOMES, 1991), determinado pela expressão a seguir:

$$CV = \frac{s}{\hat{m}} 100$$

em que:

s: é a estimativa do desvio padrão;

\hat{m} : é a estimativa da média.

4 RESULTADOS

4.1 Caracteres morfoagronômicos dos genótipos de sorgo em Lavras, Sete Lagoas e Uberlândia

A precisão experimental foi avaliada por meio das estimativas das acurácias seletivas calculadas a partir das análises individuais nos diferentes locais para os caracteres estudados. Esse parâmetro reflete a confiabilidade na estimação dos valores genotípicos dos híbridos de sorgo biomassa testados a partir dos dados fenotípicos observados. As magnitudes da acurácia variaram de 37,14%, para o número de colmos por metro linear em Uberlândia, a 97,52%, produção de massa verde (PMV) em Sete Lagoas. Essa estatística varia de 0 a 1 e, conforme Resende e Duarte (2007) pode ser classificada como muito alta ($\hat{r}_{gg} \geq 0,90$), alta ($0,70 \leq \hat{r}_{gg} < 0,90$), moderada ($0,50 \leq \hat{r}_{gg} < 0,70$) e baixa ($\hat{r}_{gg} < 0,50$).

O coeficiente de variação, também utilizado para verificar a precisão do experimento, apresentou valores considerados baixos para os caracteres AP, DC e MS (9,72%; 7,81%, 10,96%), médios para os caracteres DPF e NC (13,87%; 17,53%) e valores altos para os caracteres PMS e PMV (25,86%; 36,23%) (Tabela 3). Pimentel-Gomes (1985), estudando os coeficientes de variação obtidos em ensaios agrícolas, classifica-os da seguinte forma: baixos $CV < 10\%$; médios $10\% < CV < 20\%$; altos $20\% < CV < 30\%$; muito altos $> 30\%$.

Foram detectadas diferenças entre os locais para todos os caracteres e também entre os genótipos sob teste. Esse fato está relacionado às diferenças em

aspectos macroambientais dos locais, especialmente climáticos, a exemplo da temperatura e da pluviosidade, que têm influência na expressão dos caracteres agrônômicos estudados. Os diferentes genótipos não sofreram influência dos diferentes locais na expressão dos caracteres DPF, NC e PMV, isto é, a interação locais x genótipos não foi significativa, diferentemente do caráter AP que apresentou interação (Tabela 3).

Tabela 3 Resumo da análise de variância dos caracteres agrônômicos diâmetro de colmos (DC, mm), massa seca (MS, %) e produção de massa seca (PMS, t ha⁻¹) em Lavras-MG e análise de variância conjunta dos caracteres agrônômicos altura de plantas (AP, m), número de colmos por metro linear (NC), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹) e dias para florescimento (DPF, dias) relativo à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, Sete Lagoas-MG e Uberlândia-MG na safra 2013/2014.

FV ⁽¹⁾	GL ⁽²⁾	Quadrados Médios						
		DC ⁽³⁾	PMS ⁽³⁾	MS ⁽³⁾	DPF	AP	NC	PMV
Locais	2	-	-	-	78270**	41,44**	167,55**	72312**
Genótipos	15	4,16	185,65 *	31,68	982,57**	2,27**	5,29**	1363,75**
Locais x Genótipos	30	-	-	-	315,16	0,31**	2,88	555,3
Repetições(Locais)	6	-	-	-	97,94	0,26	4,17	68,13
Blocos (Repetições x Locais)	27	-	-	-	245,98	0,21	2,02	550,04
Erro efetivo	63(21 [#] /20 ^{..})	3,20	70,82	14,96	235,9	0,11	1,84	288,04
Acurácia Mínima (%)		-	-	-	58,86	90,47	37,14	67,35
Acurácia Máxima (%)		48,04	78,63	72,68	97,1	96,16	82,24	97,52
CV (%)		7,81	25,86	10,26	13,87	9,72	17,53	36,23

⁽¹⁾Fonte de Variação; ⁽²⁾Grau de Liberdade; ⁽³⁾Caracteres agrônômicos avaliados somente no município de Lavras-MG; #, .. Graus de Liberdade dos caracteres DC e PMS, respectivamente; *, ** significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. CV: Coeficiente de Variação.

Apesar dos genótipos apresentarem tendência de comportamento semelhante para os caracteres PMV, DPF e NC nos diferentes locais, foi possível verificar a superioridade na média dos híbridos em relação às das testemunhas para todos os caracteres. Porém, através da análise de contraste entre as médias, não foi possível verificar diferenças entre elas, para todos os caracteres, sendo as variâncias consideradas homogêneas (APÊNDICE A). Os híbridos que se destacaram em produção de massa verde e maior ciclo vegetativo foram CMSXS7024 e CMSXS7016, porém, o híbrido que apresentou maior média de produção de massa verde não foi o que apresentou o maior DPF. A média superior para número de colmos foi para o híbrido CMSXS7021(Tabela 4).

Tabela 4 Valores médios para produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), dias para florescimento (DPF, dias), altura de plantas (AP, m) e número de colmos por metro linear (NC) relativos à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, Sete Lagoas-MG e Uberlândia-MG, na safra 2013/2014.

GENÓTIPOS	PMV	DPF	AP	NC
CMSXS7024	63,14 a	123,55 a	3,79 a	8,82 a
CMSXS 7016	59,27 a	128,12 a	3,81 a	8,52 a
CMSXS7031	58,06 a	110,72 a	3,18 a	7,03 a
CMSXS7022	56,92 a	108,54 a	3,63 a	8,04 a
BRS716	53,05 a	116,14 a	3,84 a	7,70 a
CMSXS7029	52,56 a	113,81 a	3,49 a	8,17 a
CMSXS7021	51,72 a	117,68 a	3,44 a	9,01 a
CMSXS7025	51,06 a	111,85 a	3,82 a	8,14 a
CMSXS7030	48,39 a	115,50 a	3,46 a	6,83 a
CMSXS7028	48,21 a	115,51 a	3,69 a	7,66 a
CMSXS7027	48,05 a	117,19 a	3,80 a	8,04 a
CMSXS 7012	40,38 a	113,55 a	3,57 a	6,27 a

CMSXS7023	39,39 a	107,99 a	3,67 a	6,87 a
CMSXS7026	35,91 a	108,19 a	3,26 a	8,22 a
Volumax	26,97 a	89,35 a	2,12 b	7,42 a
BRS655	16,60 a	74,07 a	2,01 b	7,17 a
Média Híbrido	50,43	114,88	3,60	7,81
Média Testem.	21,78	81,71	2,06	7,30

Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Em relação à altura de plantas, houve comportamento diferente entre os genótipos, sendo que as médias variaram de 3,84 m para o híbrido BRS716 a 2,01m para a testemunha BRS655 (Tabela 4).

Devido à variação existente entre os locais e entre os genótipos de sorgo biomassa avaliados, foi verificada a formação de grupos de médias pelo teste Scott e Knott (1974), para os diferentes ambientes.

Em relação ao experimento conduzido em Lavras, houve formação de grupos de genótipos para os caracteres PMV, DPF e AP. Para o caráter PMV, as médias variaram de 39,1 t ha⁻¹ para a testemunha BRS655 a 122,4 t ha⁻¹ para o híbrido CMSXS7024. Para o caráter DPF houve a formação de quatro grupos de genótipos, sendo que as médias variaram de 83 dias para a testemunha BRS655 a 149 dias para o híbrido CMSXS7022. Quando avaliada a altura de plantas, foi possível separar os genótipos em dois grupos, sendo que as médias dos híbridos (4,00 m) foi superior à média das testemunhas (2,4 m). O caráter NC não apresentou variação entre os diferentes genótipos, tendo como média geral 9,5 colmos por metro linear (APÊNDICE B).

Um fato importante e que deve ser destacado, é que os genótipos que apresentaram maiores médias de PMV (CMSXS7024, CMSXS7022, CMSXS 7016), também foram os que apresentaram maior ciclo, ou seja, mais dias para

florescer e por terem o seu período vegetativo prolongado, apresentaram maiores médias de altura de plantas. A testemunha BRS655 apresentou as menores médias para todos os caracteres que apresentaram variação significativa (APÊNDICE B).

No experimento conduzido em Uberlândia foi possível, através da variação encontrada entre os genótipos, formar grupos para os caracteres PMV, DPF e AP. Para o caráter PMV, as médias apresentaram valores que variaram de 10,25 a 17,80 t ha⁻¹, para a testemunha BRS655 e o híbrido CMSXS7016, respectivamente. Para o caráter DPF, os genótipos se agruparam formando três grupos, sendo que o híbrido CMSXS7012 e a testemunha BRS655 apresentaram a menor média (56 dias), e o híbrido CMSXS 7016 apresentou a maior média (69 dias). O caráter altura de plantas apresentou formação de três grupos de genótipos, sendo que as testemunhas apresentaram menor altura em relação aos demais híbridos, média de 1,72 m; e os híbridos CMSXS 7016, BRS716, CMSXS7025, CMSXS7027, CMSXS7021, CMSXS7022, CMSXS7028, apresentaram maior altura, média de 2,53 m. Não houve variação significativa para o caráter NC, sendo que os genótipos apresentaram média geral de 6,61 colmos por metro linear (APÊNDICE B).

Vale ressaltar que os genótipos CMSXS 7016, BRS716, que apresentaram maior produção de massa verde, não necessariamente apresentaram as maiores médias de DPF e AP. Em relação ao caráter DPF, o genótipo CMSXS 7016 se destacou entre os demais, mas apresentou média menor em AP quando comparado a outros híbridos; em relação ao híbrido BRS716, este apresentou menor média de DPF e AP quando comparado à média destes mesmos caracteres de outros híbridos. Outro fato, é que a testemunha BRS655 apresentou o menor desempenho para todos os caracteres (APÊNDICE B).

No experimento conduzido no município de Sete Lagoas foi possível observar diferença significativa entre os genótipos para todos os caracteres agrônômicos observados. Para o caráter PMV, foram formados cinco grupos de genótipos, sendo que a testemunha BRS655 apresentou a menor média, com apenas 3,50 t ha⁻¹; e os genótipos CMSXS 7016 e CMSXS7024, apresentaram as maiores médias de produção, 55, 26 e 51,41 t ha⁻¹, respectivamente. O caráter dias para florescimento apresentou médias que variaram de 82 dias para a testemunha BRS655, a 165 dias para o genótipo CMSXS 7016. Para o caráter AP, houve a formação de três grupos de genótipos, com os híbridos CMSXS7025 (4,61 m) e BRS716(4,56 m), apresentando as maiores médias e as testemunhas Volumax (2,05 m) e BRS655 (2,13 m) as menores médias. O caráter NC também formou grupos de médias entre os genótipos, com destaque para o genótipo CMSXS 7016, que apresentou 8,61 colmos e o genótipo CMSXS 7012, que apresentou apenas 4,73 colmos por metro linear (APÊNDICE B).

É importante evidenciar, que os genótipos que apresentaram maior produção de massa verde (CMSXS 7016, CMSXS7024) foram os mesmos que apresentaram o maior tempo para florescimento, porém não foram os que obtiveram maiores médias de altura de plantas, mas apresentaram maior quantidade de colmos por metro linear na colheita. A testemunha BRS655, apresentou o menor desempenho entre os genótipos avaliados para os caracteres PMV, DPF e NC; e a testemunha Volumax apresentou a menor média de AP (APÊNDICE B).

Quando comparamos o desempenho dos diferentes genótipos nos três ambientes em que foram conduzidos os experimentos, foi possível observar, que a média de produção de massa verde e número de colmos por metro linear foram maiores no município de Lavras e que as médias para os caracteres dias para florescimento e altura de plantas foram maiores no município de Sete Lagoas.

Os genótipos conduzidos no experimento realizado no município de Uberlândia apresentaram as menores médias para todos os caracteres avaliados. Os híbridos que apresentaram maior PMV nos três locais foram: Lavras - CMSXS 7024, CMSXS 7022 e CMSXS 7016, com médias acima de 100 t ha⁻¹; Uberlândia - CMSXS 7016 e BRS716, com médias de aproximadamente 17 t ha⁻¹; Sete Lagoas - CMSXS 7016, CMSXS 7024 e CMSXS 7029, com médias acima de 50 t ha⁻¹. Em todos os ambientes as testemunhas, Volumax e BRS655, apresentaram desempenho inferior em relação aos híbridos para os caracteres agrônômicos avaliados.

Para o caráter diâmetro de colmo (DC), que foi avaliado somente em Lavras, não houve diferença entre os genótipos, sendo que as médias encontradas foram de 21,7 mm para as testemunhas e 23,1 mm para os híbridos (Gráfico 1, APÊNDICE A).

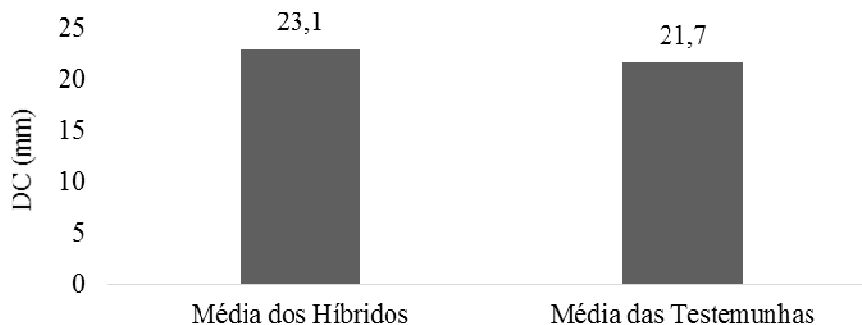


Gráfico 1 Média geral para o caráter DC dos híbridos e das testemunhas avaliadas no município de Lavras na safra 2013/2014.

Em relação ao caráter produção de massa seca, como já era esperado, foi possível a formação de dois grupos de genótipos, sendo que as médias variaram

de 12,88 t ha⁻¹, para a testemunha BRS655, a 47,31 t ha⁻¹ para o híbrido CMSXS7024 (Gráfico 2) e as médias não diferiram entre si (APÊNDICE A).

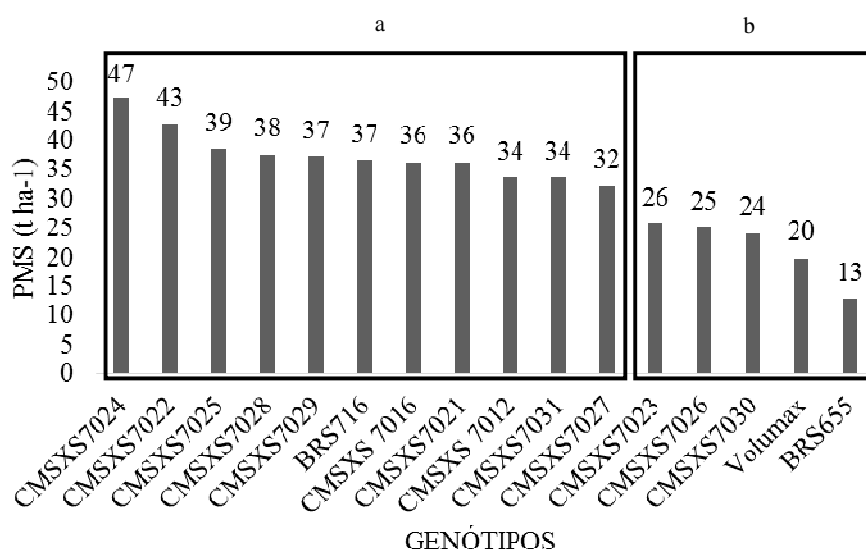


Gráfico 2 Médias dos genótipos para o caráter PMS, avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Apesar de não ter apresentado diferença entre os genótipos, é interessante conhecer qual genótipo apresenta maior percentual de matéria seca, ou seja, menor umidade. Esse dado é importante quando pensamos em um material para ser colhido e utilizado diretamente na biocombustão. Os genótipos que se destacaram em teor de matéria seca foram CMSXS7012, CMSXS7026 e CMSXS7023 com 42% de matéria seca. Em geral, os genótipos apresentaram uma média de 62% de umidade (Gráfico 3).

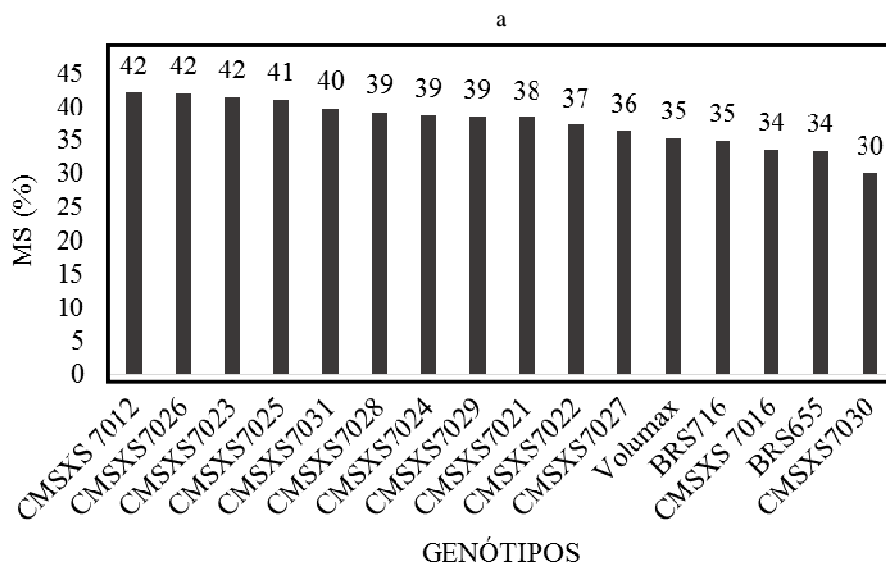


Gráfico 3 Médias dos genótipos para o caráter MS (%), avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.

4.2 Caracteres tecnológicos dos genótipos de sorgo em Lavras

Houve eficiência relativa do delineamento de blocos incompletos em relação ao delineamento de blocos casualizados completos na avaliação dos caracteres tecnológicos, com destaque para o caráter FDA. A precisão experimental verificada pela acurácia variou de 50,92% para o caráter FB a 79,61% para o caráter FDA. Em relação ao coeficiente de variação foi verificada alta precisão para todos os caracteres tecnológicos (abaixo de 20%). Foi identificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos para o caráter tecnológico fibra em detergente ácido (FDA) (Tabela 5).

Tabela 5 Resumo da análise de variância dos caracteres tecnológicos poder calorífico superior (PCS, Kcal/Kg), fibra em detergente neutro (FDN, %), fibra em detergente ácido (FDA, %) e fibra bruta (FB, %), relativo à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, na safra 2013/2014.

FV	GL	Quadrados Médios			
		PCS	FDN	FDA	FB
Genótipos	15	2845,01	37,99	38,22 *	11,6
Erro efetivo	20	3262,67	17,31	13,98	8,57
Eficiência relativa (%)		95	92,39	109,56	98,47
Acurácia (%)		-	73,85	79,61	50,92
CV (%)		1,30	5,80	7,99	8,02

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Não foi observada diferença entre os genótipos para o caráter poder calorífico superior, sendo que o PCS médio das testemunhas foi de 4345,2Kcal/Kg e dos híbridos avaliados foi de 4414,4Kcal/Kg (Gráfico 4) e as médias não diferiram entre si (APÊNDICE A).

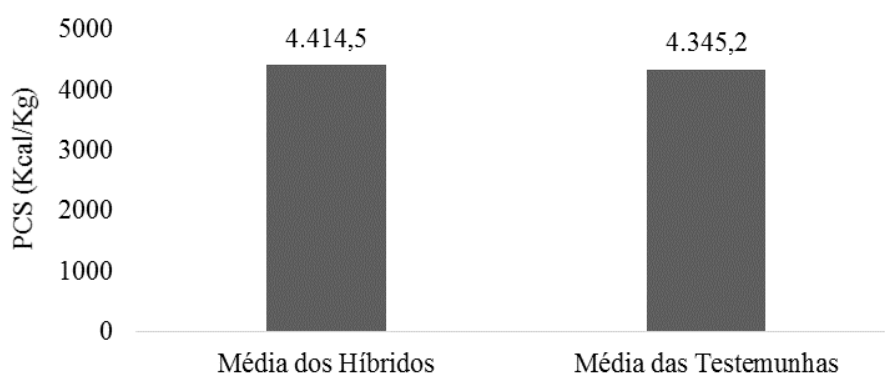


Gráfico 4 Média geral para o caráter PCS dos híbridos e das testemunhas avaliadas no município de Lavras na safra 2013/2014.

Para os caracteres tecnológicos FDN e FB os genótipos avaliados não diferiram entre si. A média geral de fibra em detergente neutro para as testemunhas foi 72,1% e para os híbridos 71,7%; e a média geral de fibra bruta para as testemunhas foi de 36,1% e para os híbridos 36,6% (Gráfico 5, APÊNDICE A).

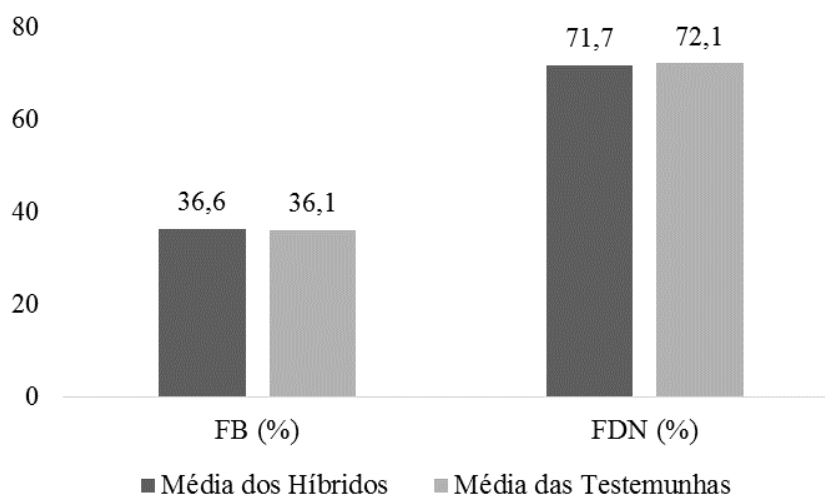


Gráfico 5 Média geral dos caracteres tecnológicos FDN e FB para as testemunhas e os híbridos avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014.

Para o caráter tecnológico FDA apesar de ter apresentado diferença significativa na análise de variância realizada, não foi possível através do teste Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade, observar o agrupamento das médias dos diferentes genótipos em grupos distintos. As médias variaram de 38,7% (CMSXS7026) a 51,9% (BRS716) (Gráfico 6, APÊNDICE A).

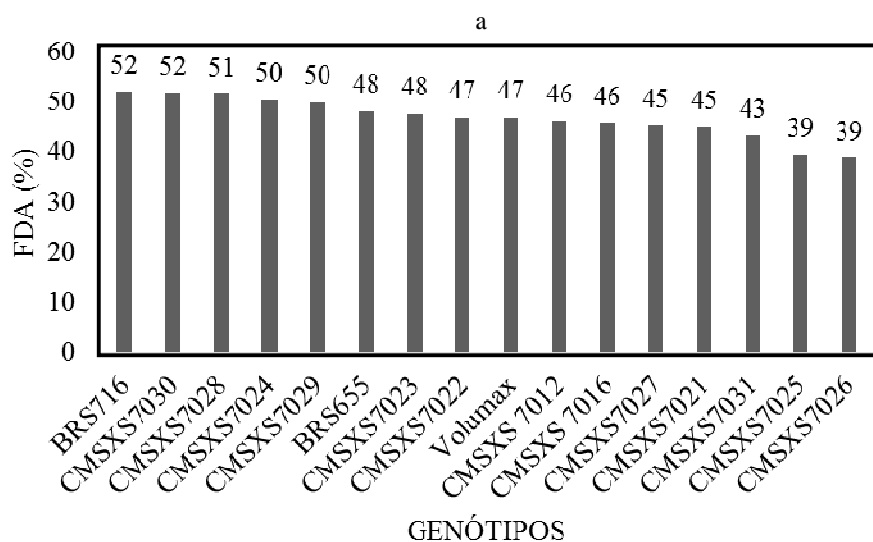


Gráfico 6 Médias dos genótipos para o caráter tecnológico FDA, avaliados no município de Lavras na safra 2013/2014. Médias que apresentam a mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.

4.3 Correlações fenotípicas entre as variáveis morfoagronômicas e tecnológicas

Para verificar a existência de associação entre as variáveis analisadas no experimento conduzido no município de Lavras procedeu-se análises de correlações com o aporte do *software* SAS (SAS, 1999). Foi possível detectar diferenças significativas para algumas das combinações analisadas (PMV x PMS; PMV x NC; PMV x DPF; PMV x AP; PMS x NC; PMS x DPF; PMS x AP; DPF x AP; FB x FDN; FB x FDA; FDN x FDA), evidenciando que há associação entre as variáveis estudadas (Tabela 6).

Maiores magnitudes de correlação fenotípica positiva, entre os caracteres agrônômicos, foram obtidas para PMV x PMS (0,9318) e DPF x AP (0,9038). Apesar de não apresentarem um alto valor, os caracteres NC x PMS (0,5254) e NC x PMV (0,4984), também se correlacionam positivamente. Observou-se que os caracteres agrônômicos estão associados de forma positiva e significativa. Essa correlação, possivelmente, pode ser devido à sensibilidade dos genótipos ao fotoperíodo, que proporciona um aumento do ciclo vegetativo, fazendo com que haja um aumento dos DPF e conseqüentemente dos demais caracteres (NC, AP, PMS, PMV).

O caráter tecnológico FB também apresentou correlação positiva com as variáveis tecnológicas FDN (0,8477) e FDA (0,8808). Os caracteres FDN e FDA também apresentaram alta correlação entre si (0,9418).

Não foram observadas correlações significativas entre as variáveis tecnológicas e agrônômicas dos genótipos avaliados.

Tabela 6 Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica ($r_{f_{xy}}$) de Pearson entre caracteres para os caracteres altura do colmo em m (AP), número de colmos por metro linear (NC), produção de massa verde em $t\ ha^{-1}$ (PMV), produção de massa seca em $t\ ha^{-1}$ (PMS), diâmetro de colmos em mm (DC), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), fibra bruta (FB), dias para florescimento em dias (DPF), poder calorífico superior em Kcal/Kg (PCS) avaliadas em genótipos de sorgo biomassa no município de Lavras, Minas Gerais, na safra de 2013/2014.

Caracteres	PMV	PMS	PCS	FDN	FDA	FB	DPF	AP	DC
NC	0,4984*	0,5254*	-0,0413	-0,0884	-0,1481	-0,2689	0,3215	0,3248	-0,3796
PMV		0,9318**	0,0568	0,2134	0,2731	0,2786	0,8511**	0,7697**	-0,0619
PMS			0,2095	0,0257	0,0791	0,1239	0,8365**	0,7694**	-0,0273
PCS				-0,3551	-0,3703	-0,2722	-0,3305	-0,1716	-0,1047
FDN					0,9418**	0,8477**	0,0171	0,0854	-0,0644
FDA						0,8808**	0,0508	0,0300	-0,1623
FB							0,1940	0,1981	0,1019
DPF								0,9038**	0,1956
ALT									0,4292

* **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.

5 DISCUSSÃO

5.1 Caracteres morfoagronômicos

Os programas de melhoramento de sorgo biomassa têm atuado no sentido de produzir híbridos que apresentem sensibilidade ao fotoperíodo e produção de matéria seca acima de 50 t ha⁻¹/ciclo (PARRELLA et al., 2010, 2011). Além dessa característica, outras também são desejáveis quando o objetivo é produção de biomassa para geração de energia como: baixa produtividade de grãos, resistência ao acamamento, baixo teor de umidade, qualidade de biomassa, dentre outras.

A avaliação de diferentes genótipos em experimentos de campo é uma atividade recorrente nos programas de melhoramento, e para que haja sucesso nos processos de seleção é necessário que exista variação genética entre os genótipos sob teste. Este fato é evidenciado para os híbridos experimentais de sorgo biomassa utilizados neste trabalho, que apresentaram significância para alguns de seus caracteres agronômicos e tecnológicos avaliados.

Com isso, é necessário que as avaliações sejam realizadas com boa precisão experimental. A acurácia seletiva refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos (COSTA et al., 2005). Estimativas acima de 70% são de grande amplitude e indicam que os experimentos foram bem conduzidos e reforçam que a maior parte da variação identificada é devido ao efeito de tratamentos (RESENDE; DUARTE, 2007).

Nos experimentos para avaliação de caracteres agronômicos conduzidos em Lavras, Uberlândia e Sete Lagoas, e no experimento para avaliação de caracteres agronômicos e tecnológicos conduzido em Lavras, houve grande oscilação apresentando valores que variaram de baixos a altos. Porém, esta já era esperada devido à ampla variação genética expressa nos híbridos testados e a grande variação ambiental existente entre os locais.

O coeficiente de variação (CV) também foi utilizado como ferramenta de validação da precisão do experimento e apresentou valores que oscilaram de alta a baixa

precisão, segundo Pimentel-Gomes (1985). O alto CV do caráter PMV na análise conjunta dos experimentos, demonstra a heterogeneidade dos dados e provavelmente grande interferência ambiental devido às características edafoclimáticas das regiões em que foram implantados os experimentos. Já no experimento conduzido em Lavras para avaliação dos caracteres DC, PMS e tecnológicos, houve boa precisão do experimento e as variações ocorridas provavelmente foram devido aos diferentes tratamentos utilizados (Tabela 5).

As diferenças encontradas entre os locais em que foram conduzidos os experimentos reforçam a existência de diversidades ambientais, e as significâncias existentes entre os genótipos testados evidenciam a variabilidade entre eles para todos os caracteres agrônômicos estudados, revelando a possibilidade de realizar o agrupamento dos diferentes genótipos por meio do método de Scott e Knott (1974). Esse fato foi essencial, pois permitiu o estudo de médias com o objetivo de identificar os melhores genótipos quanto ao desempenho para os caracteres de interesse (Tabela 3, Tabela 5).

Como não houve interação entre os locais e os genótipos para os caracteres PMV, DPF e NC foi possível inferir que, em média, não há influência dos diferentes ambientes sobre os genótipos, ou seja, estes apresentaram comportamento semelhante para os caracteres avaliados em todos os locais. A interação significativa para o caráter AP demonstrou que há influência dos ambientes no desempenho desta variável. Através dos dados obtidos, observou-se que o caráter AP é influenciado pelo DPF, pois os híbridos, sensíveis ao fotoperíodo, apresentaram maiores médias de DPF do que as testemunhas, insensíveis ao fotoperíodo, e conseqüentemente maiores alturas (Tabela 4).

As diferenças existentes entre os genótipos em relação à AP foram maiores nos municípios de Uberlândia e Sete Lagoas, provavelmente devido às influências climáticas e de solo, principalmente pelos períodos de baixa pluviosidade durante a condução dos experimentos. Lavras e Sete Lagoas apresentaram maiores médias de AP, provavelmente em decorrência de época de implantação e tempo de condução do experimento no campo, pois em

Uberlândia o experimento foi implantado em época diferente e permaneceu no campo por um tempo inferior ao dos demais locais (APÊNDICE B).

Segundo Wight et al. (2012), a altura das plantas pode ser utilizada como um indicador útil de produção de matéria seca em híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo, já que estes apresentam maior período vegetativo, o que contribui para maior crescimento e produção de massa verde. Porém, plantas muito altas podem aumentar o índice de acamamento e perdas. Segundo Parrella et al. (2010), a altura de plantas, no sorgo, é controlada por 4 genes principais com 2 alelos cada e de efeitos aditivos, sendo que a combinação desses alelos é que confere o porte da planta (baixo, médio ou alto). Os mesmos autores citados anteriormente, em trabalho de desenvolvimento de híbridos sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa, verificaram uma variação na altura de plantas de 2,72 a 5,60m. Parrella et al. (2011), em estudo avaliando desempenho agrônomico de híbridos de sorgo biomassa, observaram plantas híbridas com alturas entre 2,77 a 5,50m, e variedades com alturas entre 2,03 a 5,12m; destacando que, em geral, os híbridos são de maior porte do que as variedades, devido à heterose ou vigor híbrido, que é a superioridade do F^1 em relação aos pais.

O caráter NC está relacionado à capacidade dos genótipos em perfilhar. Como não se observou diferença foi possível inferir que em média os genótipos avaliados apresentam a mesma capacidade de perfilhamento. Contudo, é oportuno ressaltar também que este caráter é muito influenciado por fatores ambientais, sobretudo a disponibilidade hídrica, levando em consideração que durante o período de condução do experimento o regime de chuvas foi abaixo da média esperada (Figura 1, Figura 2, Figura 3). As maiores médias de NC foram encontradas no município de Lavras. Para o município de Sete Lagoas que apresentou variação para este caráter, foi possível deduzir que as diferenças na capacidade de perfilhamento dos genótipos testados, permitindo que alguns

híbridos ou testemunhas se sobressaíssem em relação aos demais, ocorreram, provavelmente, devido a influências ambientais e de manejo (APÊNDICE B). Perazzo et al. (2014), considera que o caráter número de colmos por hectare representa a população de sorgo por unidade de área e pode ser associado à produção de matéria seca, quando avaliado juntamente com diâmetro de colmos e altura de plantas.

Quando se deseja a produção de biomassa, uma característica importante que deve ser avaliada é o número de dias para o florescimento (DPF). Esse caráter está diretamente relacionado ao potencial de produção de matéria verde e conseqüentemente matéria seca, isto é, biomassa. Espera-se que cultivares de genótipos que apresentam maior tempo para florescimento tenham maior PMV e PMS. Rooney e Aydin (1999), em seu estudo, destacam que a data de florescimento é dependente da data de plantio e do comprimento do dia, que varia de acordo com a latitude e com as estações do ano. Os experimentos conduzidos em Lavras e Sete Lagoas (plantados em novembro de 2013) apresentaram maiores valores de DPF do que o experimento implantado em Uberlândia (plantio em março de 2014), provavelmente devido à diferença na data de plantio e tempo de permanência do experimento no campo. Essa diferença influenciou não só o caráter DPF, mas também os caracteres PMV e AP que também apresentaram valores bem inferiores quando comparados com os demais locais (APÊNDICE B).

Parrella et al. (2011) ressaltam que os sorgos podem ser classificados como sensíveis ou insensíveis ao fotoperíodo. O sorgo sensível é uma planta de dias curtos, portanto sua gema apical permanece vegetativa até que o comprimento do dia se torne menor que 12 horas e 20 minutos para que haja indução floral e conseqüentemente o florescimento. Para a produção de biomassa essa característica é uma grande vantagem, pois amplia o ciclo vegetativo da planta aumentando sua produção por hectare/ciclo em relação às

plantas insensíveis ao fotoperíodo (PARRELLA et al., 2011). Murphy et al. (2014) e Yang et al. (2014), identificaram que alelos dominantes são responsáveis pelas diferenças de sensibilidade ao fotoperíodo e tempo de florescimento entre os genótipos de sorgo, sendo que nos híbridos de sorgo biomassa esses alelos agem no sentido de atrasar o período de indução floral.

As testemunhas analisadas, em todos os três locais, demonstraram comportamento de florescimento precoce em relação aos demais híbridos. Pereira et al. (2012), apresentaram que as cultivares de sorgo forrageiro, BRS655 e Volumax, insensíveis ao fotoperíodo, possuem ciclo curto (80 a 114 DPF), corroborando para validação dos dados obtidos no experimento.

Conforme já citado, a produção de massa verde pode ser influenciada por diversos fatores ambientais e também está diretamente relacionada ao NC, DC, DPF e AP. A PMV é um dos fatores mais importantes a ser avaliado na identificação de híbridos potenciais, pois é ele que representa a capacidade geral de um híbrido de produzir matéria seca, ou seja, biomassa. Apesar de não terem apresentado diferenças entre os diferentes locais em que foram estabelecidos os experimentos foi no município de Lavras e no município de Sete Lagoas que os híbridos avaliados apresentaram maiores médias de PMV. Lavras apresentou híbridos com médias superiores a 100 t ha^{-1} . Provavelmente, as médias de alguns híbridos foram superiores nos diferentes locais, devido a variações genótípicas e ambientais favorecendo a produção de biomassa de genótipos mais adaptados. Uberlândia apresentou menores médias de PMV devido à época de plantio, como já foi citado anteriormente (APÊNDICE B).

Pereira et al. (2012) verificaram em seus estudos que a produção de massa verde dos híbridos experimentais de sorgo avaliados variou de $54,84 \text{ t ha}^{-1}$ a $104,18 \text{ t ha}^{-1}$, e das variedades de $66,24 \text{ t ha}^{-1}$ a $72,65 \text{ t ha}^{-1}$, e que nos híbridos forrageiros comerciais BRS655 e Volumax, o PMV foi de $45,40 \text{ t ha}^{-1}$ e $45,92 \text{ t ha}^{-1}$, e como esses cultivares são insensíveis ao fotoperíodo, eles apresentaram

menor ciclo e porte, o que refletiu em menores produtividades. Parrella et al. (2010), verificaram uma produção de massa verde em híbridos de sorgo biomassa que variou de 17,72 a 135,28 t ha⁻¹. Parrella et al. (2011), em estudo já citado anteriormente, encontraram para PMV, híbridos que variaram de 32,45 t ha⁻¹ a 161,62 t ha⁻¹ e variedades com médias de 20,14 t ha⁻¹ a 76,42 t ha⁻¹. Foi possível verificar novamente que, em geral, os híbridos são mais produtivos do que as variedades, fato observado devido à existência de heterose. Segundo Olson et al. (2012), o maior acúmulo de biomassa em híbridos de sorgo pode ser explicado pelo maior período vegetativo (sensibilidade aos fotoperíodos), maior índice de área foliar, maior interceptação e aproveitamento eficiente de radiação (plantas C4).

Em relação às análises agronômicas realizadas no experimento conduzido no município de Lavras, observou-se que não houve diferença para o caráter DC que é muito influenciado pelos fatores ambientais. Logo, infere-se que possivelmente o déficit hídrico durante a fase de condução do experimento (Figura 1) propiciou que os genótipos não expressassem seu máximo potencial quanto à manifestação fenotípica do presente caráter. Durães et al. (2013), também não encontraram variabilidade para o caráter diâmetro entre os genótipos de sorgo sacarino avaliados em seus estudos. Monteiro et al. (2004) explica que, o caráter diâmetro é um carácter significativo para a produção de biomassa em sorgo forrageiro, pois a maior altura de plantas nem sempre implica uma maior produção de matéria seca, se ela não estiver relacionada com colmos de maior diâmetro. Além disso, esse fator está diretamente relacionado ao acamamento de plantas, principalmente quando trabalhamos com genótipos que apresentam maior altura.

O rendimento da matéria seca é um fator primordial, pois gera repostas imediatas na produção total de biomassa, que é um dos principais focos do melhoramento para a produção de energia. Silva et al. (1999), citam que os

teores de MS dos componentes da planta são variáveis conforme a interação genótipo/ambiente, atuando sobre o acúmulo de matéria seca da planta inteira. Segundo Zago (1991), das frações da planta de sorgo, o colmo é a porção que menos contribui para a elevação do teor de MS, seguido pelas folhas e panícula. Assim, o aumento na participação da panícula na estrutura física da planta torna-se o principal responsável pela alteração no teor de MS e consequente determinação do ponto de colheita. Conforme observado nos resultados, houve diferença entre os genótipos para produção de massa seca, sendo que a média dos híbridos se destacou em relação à das testemunhas.

Nem todos os híbridos que apresentaram altas produções de massa verde apresentaram altas produções de massa seca, provavelmente devido aos componentes presentes nas amostras que foram utilizadas para realizar os cálculos de MS, pois estas podem ter sido compostas por partes da planta que apresentavam menor contribuição para o aumento do teor de MS, como citado anteriormente. Corroborando com os resultados verificados no experimento, Parrella et al. (2010), trabalhando com sorgo biomassa, encontraram médias de produção de matéria seca próximas a 50 t ha^{-1} , e citam que, em geral, essas produtividades são maiores que o dobro das observadas nas cultivares forrageiras existentes no mercado.

5.2 Caracteres tecnológicos

Além da produção de massa seca, antes de recomendar um material como bom gerador de energia é necessário avaliá-lo e determinar o seu potencial calórico. O poder calorífico superior é uma importante medida para a avaliação energética de qualquer combustível e foi utilizado para avaliar o desempenho dos genótipos sob teste, sendo que estes não apresentaram diferença significativa

entre si, ou seja, possuem a mesma capacidade de geração de energia quando submetidos à biocombustão. Quando comparamos os valores obtidos nas análises de poder calorífico dos genótipos de sorgo biomassa (4411,37 Kcal/Kg) com outros materiais com a mesma finalidade, como os estudados por Paula et al. (2011): caule de milho (4211,88 Kcal/Kg), bagaço da cana (4274,48 Kcal/Kg), pergaminho do café (4441,74 Kcal/Kg), caule do feijão (4291,71 Kcal/Kg), caule da soja (4504,25 Kcal/Kg), serragem da madeira (4291,71 Kcal/Kg); pode-se inferir que o sorgo biomassa possui um alto valor calorífico, podendo assim ser utilizado para a geração de energia de forma sustentável.

Um fator importante que deve ser observado é a umidade do material no momento da colheita para que este possa ser queimado sem passar por tratamento prévio de secagem, pois a umidade diminui a temperatura de combustão dificultando a queima do material combustível. Segundo Neumann et al. (2002), uma alta proporção de colmos pode aumentar significativamente a umidade do material, pois são neles que estão localizados os mais altos níveis de umidade da planta. Leite e Pinto (1983), trabalhando com a cana-de-açúcar, verificaram que o bagaço com 50% de umidade apresentava um poder calorífico inferior (PCI) de $1.790 \text{ Kcal Kg}^{-1}$ e que com um teor de umidade de 20% esse poder calorífico aumentava significativamente para $3.244 \text{ Kcal Kg}^{-1}$. O material colhido apresentou alto teor de umidade e nessas condições teria que passar por uma pré-secagem para ser queimado. Portanto, é preciso avaliar mais cuidadosamente o ponto de colheita, as condições ambientais, proporção de colmos e desempenho dos genótipos, para que o material colhido possa ser prontamente levado à caldeira e apresentar altos rendimentos calóricos.

Não são apenas os fatores agrônômicos que são importantes na seleção de um genótipo para a produção de biomassa, as variáveis tecnológicas, que estão diretamente relacionadas à qualidade da biomassa produzida, também são relevantes. A fibra é constituinte da parede celular dos vegetais, sendo formada

principalmente por celulose, hemicelulose, lignina, proteína e por outros compostos minoritários (MACEDO JÚNIOR et al., 2007). A determinação da fração fibrosa do material pode ser feita isolando-se a fibra bruta (FB) através de um método que utiliza ácidos e bases fortes, com a finalidade de medir os componentes químicos da parede celular das plantas. Porém, este método é falho, pois contribui para que boa parte dos componentes da parede celular, tais como hemicelulose e lignina, sejam destruídos por esses reagentes. Com isso, foi estabelecido por Van Soest (1967) e Van Soest e Wine (1967), o método de sistemas de detergentes para a análise de fibras. Nesse sistema, o alimento é dividido na fração solúvel, a qual é rapidamente e completamente disponível, e a fração insolúvel, que é lenta e incompletamente disponível. A fibra em detergente neutro (FDN) isola celulose, hemicelulose e lignina, com alguma contaminação de pectina, proteína e cinzas. Como meio de quantificar os componentes isolados da fibra, Van Soest adicionalmente, criou a fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), a qual é composta de celulose, lignina, sílica e proteína insolúvel em detergente ácido (MACEDO JÚNIOR et al., 2007). Dos três métodos utilizados para quantificar a fibra (FDN, FDA, FB), somente a FDN mensura os três maiores componentes indigestíveis ou incompletamente digestíveis das plantas: hemicelulose, celulose e lignina (MERTENS, 2001).

No experimento conduzido por Damasceno et al. (2013), foram observadas diferenças entre os genótipos avaliados para as variáveis FDN, que apresentou valores que oscilaram de 46,1 a 77,7%, e FDA com valores de 25,7 a 52,5%. Neumann et al. (2002), analisando os teores dos constituintes da parede celular da fração colmo, folhas e panícula de diferentes híbridos de sorgo, verificaram a existência de variação significativa para as variáveis de FDN e FDA. Observaram também que os resultados médios do componente panícula apresentaram os menores teores das variáveis quando comparados aos componentes colmo e folhas. No presente trabalho, as variáveis tecnológicas

FDN e FB não apresentaram diferenças significativas, evidenciando que os genótipos avaliados possuem a mesma composição bioquímica da parede celular para os três maiores componentes (hemicelulose, celulose e lignina), mensurados pela FDN, conforme citado anteriormente. Apenas a variável FDA apresentou significância, porém, através do teste de médias utilizado, Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade, não foi possível observar o agrupamento das médias para os diferentes genótipos avaliados, dificultando a análise dos dados e distinção dos grupos que apresentaram maiores e menores médias.

5.3 Correlações fenotípicas

Como muitas características são levadas em consideração no processo de seleção de híbridos, as correlações podem influenciar positiva ou negativamente na seleção, podendo ser utilizadas como ferramentas auxiliares em programas de melhoramento genético. As estimativas de correlações permitem prever o comportamento de uma característica quando se realiza a seleção em outra correlacionada, ou seja, implica na viabilidade de se promover a seleção em uma característica de fácil mensuração, visando obter ganhos em outra de difícil avaliação ou de baixa herdabilidade (LOMBARDI et al., 2013).

Nas correlações avaliadas no experimento foi possível observar correlações positivas e significativas entre os caracteres agrônômicos, evidenciando que há uma relação de alta magnitude entre os caracteres PMV e PMS, indicando que há uma forte influência entre os dois e estes apresentam alta correlação também com os caracteres DPF e AP, e média correlação com o caráter NC (Tabela 6). Isso indica que programas de melhoramento voltados para seleção de plantas que apresentem híbridos com maiores médias de DPF, AP e NC resultarão em genótipos com maiores produções de massa verde e massa seca, como já previsto. Monk, Miller e Mcbee (1984), em seus estudos

utilizando análise de correlações, também verificaram a existência de correlação significativa e positiva entre altura de plantas e produção total de biomassa em genótipos de sorgo para produção de energia. Segundo estudos realizados por Perazzo et al. (2014), avaliando caracteres agronômicos de 32 cultivares de sorgo no semiárido brasileiro, também observaram correlações positivas e significativas entre PMS e PMV ($r = 0,87$), AP ($r = 0,61$) e NC ($r = 0,57$). Resultados que demonstram correlações entre o ciclo de genótipos de sorgo e os caracteres AP e PMV, foram apresentados por Miller e McBee (1993), em seus experimentos.

Para os caracteres tecnológicos avaliados, também houve correlação positiva e significativa entre eles, demonstrando que os caracteres FDN e FDA estão altamente correlacionados entre si e altamente correlacionados com o caráter FB, indicando que programas de melhoramento voltados para obtenção de genótipos que apresentem maior ou menor teor de fibra irão afetar diretamente todos os três caracteres.

A não correlação entre os caracteres agronômicos e os tecnológicos pode ter ocorrido devido a não interferência dos caracteres agronômicos estudados na composição da parede celular dos vegetais.

6 CONCLUSÃO

Os híbridos de sorgo biomassa, sensíveis ao fotoperíodo, quando comparados com híbridos comerciais de sorgo forrageiro, insensíveis ao fotoperíodo, apresentam uma produção média de 34 tha^{-1} de matéria seca, com 62% de umidade e poder calorífico superior médio de 4.400 Kcal/Kg. Podendo

assim, ser considerado como uma matéria-prima com potencial agrônomo e energético para a produção de bioenergia.

Há correlação entre os caracteres agrônômicos, altura de plantas, dias para florescimento e número de colmos no acúmulo de massa verde e consequentemente de massa seca.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. Jundiaí: Cia Paulista de Estrada de Ferro, 1961. 667 p.

AROLA, R. A. **Wood fuels: how do they stack up?** Madison: Forest Products Research Society, 1976. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ATCHISON, J. E. Making the bagasse available for pulp, paper, board, fiber board, particle board and others industrial products at what price equivalent fuel values of bagasse and other fibrous row material as compared to fossil fuel. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 1977. p. 3129-3144.

BRITO, J. O. Energia de biomassa: uma alternativa para os trópicos. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENERGIA, Guatemala. **Anais...** São Paulo: CONFEA; CREA, 1986. p. 1-20.

CARRILLO, M. A. et al. Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. **Fuel**, London, v. 116, p. 427–431, 2014.

CARVALHO, C. G. P. et al. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 603-613, abr. 1999.

CARVALHO, S. P.; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 19, p. 479-484, Sept. 1996.

COELHO, A. M. et al. Seja o doutor do seu sorgo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 100, p. 1-24, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura mensal do sorgo**. Brasília, 2014.

COSTA, R. B. et al. Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Hevea brasiliensis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 74-75, 2005.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: biometria. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 1, 382 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 579 p.

CUNHA, E. E.; LIMA J. M. P. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 4, p. 701-706, 2010.

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

DAMASCENO, C. M. B. Genômica do sorgo sacarino e análise de marcadores genéticos moleculares para características de interesse agrônomo e industrial. **Agroenergia em Revista**, São Paulo, v. 3, p. 10-11, ago. 2011.

DANTAS, A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DURÃES, N. N. L. et al. Seleção de múltiplos caracteres agroindustriais em sorgo sacarino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, Uberlândia. **Anais...** Viçosa, MG: SBMP, 2013. p. 1638-1641.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MILHO E SORGO. **Cultivo do sorgo**. Brasília, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MILHO E SORGO. **Cultivo do sorgo**. Brasília, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MILHO E SORGO. **Sorgo forrageiro para produção de silagem de qualidade, híbrido BRS655**. Brasília, 2009.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to qualitative genetics**. 4. ed. London: Longman, 1996. 463 p.

FARIAS, G. A. A. M. et al. Rentabilidade da produção de vassouras de sorgo-vassoura (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 97-102, jan./jun. 2000.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: sistema de análise de variância. Lavras: UFLA, 2006. Software.

FOLTRAN, D. E. O sorgo-vassoura como alternativa agrícola regional. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 1-5, jan./jun. 2012.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 10 p. (Circular Técnica, 171).

GIACOMINI, I. et al. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 3, p. 73-82, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 out. 2014.

LEITE, W. B.; PINTO, L. A. **O valor do bagaço como combustível**: avaliação do bagaço da cana-de-açúcar. São Paulo: UNESP, 1983. 39 p. (Coleção Sopral, 4).

LOMBARDI, G. M. R. et al. **Correlações fenotípicas e ambientais entre caracteres agroindustriais de sorgo sacarino**. 2013. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94606/1/Correlacoes-fenotipicas.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2014.

MACEDO JÚNIOR, G. L. et al. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. **Ciência Animal**, Fortaleza, v. 17, n. 99, n. 1, p. 7-17, 2007.

MAMEDES, J. A.; RODRIGUES, M. P. J.; VANISSANG, C. A. Biomassa no Brasil. **Bolsista de Valor**, Campos dos Goytacazes, v. 1, p. 65-73, 2010.

MERTENS, D. R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. p. 25-36.

MILLER, F. R.; MCBEE, G. G. Genetics and management of physiologic systems of sorghum for biomass production. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 5, n. 1. p. 41-49, 1993.

MONK, R. L.; MILLER, F. R.; MCBEE, G. G. Sorghum Improvement for energy production. **Biomass**, London, v. 6, p. 145-153, 1984.

MONTEIRO, M. C. D. et al. Avaliação do desempenho de sorgo forrageiro para o semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, p. 52-61, 2004.

MOREIRA, L. R. et al. Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes intensidades de irrigação. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 15, n. 2, p. 39-48, maio/ago. 2013.

MURPHY, R. L. et al. Ghd7 (Ma(6)) represses sorghum flowering in long days: Ghd7 alleles enhance biomass accumulation and grain production. **The Plant Genome**, Madison, v. 7, n. 2, p. 1-10, July 2014.

NEUMANN, M. J. et al. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 293-301, 2002.

OLIVEIRA, R. P. et al. Características agronômicas de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 45-53, 2005.

OLSON, S. N. et al. High biomass yield energy sorghum: developing a genetic model for C4 grass bioenergy crops. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, Chichester, v. 6, p. 640-655, Dec. 2012.

PARRELLA, R. A. C. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

PARRELLA, R. A. C. et al. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PAULA, L. E. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, Apr./June 2011.

PERAZZO, A. F. et al. Agronomic evaluation of 32 sorghum cultivars in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 43, n. 5, p. 232-237, 2014.

PEREIRA, G. A. et al. Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: [s. n.], 2012.

PIMENTEL-GOMES, F. **O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1991. 4 p. (Circular Técnica, 178).

QU, H. et al. Field performance and nutritive value of sweet sorghum in eastern China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 157, p. 84-88, 2014.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Local, v. 3, p. 182-194, 2007.

ROONEY, W. L.; AYDIN, S. Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 397-400, 1999.

SABALLOS, A. Development and utilization of sorghum as a bioenergy crop. In: VERMERIS, W. (Ed.). **Genetic improvement of bioenergy crops**. New York: Springer, 2008. p. 211–248.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analysis methods for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 166 p.

SILVA, F. F. et al. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo+folhas/panícula. 1. Avaliação do processo fermentativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 14-20, 1999.

SORDI, R. A. Sorgo sacarino para produção de etanol: uma visão do produtor e da usina de cana-de-açúcar. **Agroenergia em Revista**, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 31-32, ago. 2011.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS user's guide: statistics**. Cary, 2012. (Version 9.3).

SUMNER, H. R. et al. **Indirect fire biomass and bomb calorimeter determinations**. Amsterdam: ASAE, 1983. 285 p.

TEIXEIRA, A. M. et al. Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) silages with different tannin contents in sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 43, n. 1, p. 14-19, 2014.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Efeito da seca sobre a cana abre perspectiva para híbridos de sorgo na próxima entressafra**.

Disponível em: <<http://www.unica.com.br/unica-na-midia/17729932920315173097/efeito-da-seca-sobre-a-cana-abre-perspectiva-para-hibridos-de-sorgo-na-proxima-entressafra/>>. Acesso em: 14 maio 2014.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Indústria brasileira de cana-de-açúcar: uma trajetória de evolução.** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/linhadotempo/index.html#>>. Acesso em: 1 out. 2013.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, p. 119-128, 1967.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. The use of detergents in analysis of fibrous feeds: IV. Determination of plant cell wall constituents. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 50, p. 50, 1967.

VERMERRIS, W. et al. Molecular breeding to enhance ethanol production from corn and sorghum stover. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 3, p. 142-153, 2007.

VIRMOND, E. Potencial de cogeração de energia elétrica a partir de resíduos do processamento de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, São Paulo, v. 3, p. 10-11, ago. 2011.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. **Cultura do sorgo.** Lavras: UFLA/ FAEPE, 2002. 76 p.

WALL, J. S.; ROSS, W. M. **Produccion y usos del sorgo.** Buenos Aires: Editorial Hemisfério Sur, 1975.

WIGHT, J. P. et al. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 46, p. 593-604, 2012.

YANG, S. et al. CONSTANS is a photoperiod regulated activator of flowering in sorghum. **BMC Plant Biology**, London, v. 14, n. 148, May 2014. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2229/14/148>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

ZAGO, C. P. Cultura do sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1991. p. 169-217.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Resumo da análise de diferenças entre as médias dos híbridos e das testemunhas para os caracteres agrônômicos diâmetro de colmos (DC, mm), massa seca (MS, %), produção de massa seca (PMS, t ha-1), altura de plantas (AP, m), número de colmos por metro linear (NC), produção de massa verde (PMV, t ha-1) e dias para florescimento (DPF, dias); e dos caracteres tecnológicos poder calorífico superior (PCS, Kcal/Kg), fibra em detergente neutro (FDN, %), fibra em detergente ácido (FDA, %) e fibra bruta (FB, %), relativo à avaliação de genótipos de sorgo biomassa em Lavras-MG, Sete Lagoas-MG e Uberlândia-MG na safra 2013/2014.

	Tratamentos	PMV	DPF	AP	NC	DC	PMS ⁽¹⁾	MS ⁽¹⁾	PCS ⁽¹⁾	FB ⁽¹⁾	FDN ⁽¹⁾	FDA ⁽¹⁾
Médias	Híbridos	50,4	114,8	3,6	7,8	23,1	34,9	38,1	4414,5	36,6	71,7	46,7
	Testemunhas	21,7	81,7	2,1	7,3	21,7	16,4	34,5	4345,2	36,1	72,1	47,5
Variâncias	Híbridos	61,6	32,9	0,05	0,6	1,7	42,6	11,9	2121,1	6,1	16,3	17,7
	Testemunhas	53,7	116,7	0,006	0,03	0,06	24,4	1,7	221,3	0,4	6,1	0,7
Fc		0,6325	0,0822	0,2791	0,1713	0,1529	0,5376	0,2879	0,2482	0,1906	0,4496	0,1553

Teste F a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Avaliações realizadas somente no município de Lavras-MG.

APÊNDICE B Valores médios para produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹), dias para florescimento (DPF, dias), altura de plantas (AP, m) e número de colmos por metro linear (NC) relativos à avaliação individual de genótipos de sorgo biomassa realizada nos municípios de Lavras-MG (LV), Sete Lagoas-MG (SL) e Uberlândia-MG (UB), na safra 2013/2014.

GENÓTIPOS	PMV			DPF			AP			NC		
	LV	UB	SL	LV	UB	SL	LV	UB	SL	LV	UB	SL
CMSXS7021	91,99 a	13,97 a	45,80 a	138,8 b	63,07 b	151,02 a	4,12 a	2,50 a	3,65 b	12,25 a	7,41 a	7,75 a
CMSXS7022	115,76 a	12,86 b	35,62 c	149,91 a	68,30 a	107,32 b	4,58 a	2,68 a	3,62 b	11,69 a	6,18 a	6,27 b
CMSXS7023	61,37 b	11,14 b	41,44 b	128,46 b	60,91 b	134,59 a	4,27 a	2,39 b	4,34 a	7,09 a	6,92 a	6,54 b
CMSXS7024	122,4 a	13,63 a	51,41 a	146,04 a	68,09 a	157,56 a	4,59 a	2,28 b	4,48 a	12,53 a	5,71 a	8,09 a
CMSXS7025	94,34 a	15,26 a	42,39 b	133,43 b	64,11 a	138,26 a	4,43 a	2,46 a	4,61 a	11,30 a	7,01 a	6,36 b
CMSXS7026	58,92 b	11,93 b	36,03 c	131,96 b	61,98 b	130,9 a	3,99 a	2,35 b	3,39 b	11,08 a	6,47 a	7,27 a
CMSXS7027	86,69 a	14,27 a	43,05 b	136,94 b	65,31 a	148,33 a	4,42 a	2,51 a	4,46 a	10,25 a	6,73 a	6,87 b
CMSXS7028	98,58 a	12,14 b	34,55 c	135,22 b	66,31 a	144,00 a	4,39 a	2,50 a	4,26 a	10,79 a	6,27 a	6,24 b
CMSXS7029	97,06 a	12,33 b	50,27 a	134,86 b	61,50 b	143,98 a	3,80 a	2,34 b	4,40 a	9,40 a	6,53 a	8,55 a
CMSXS7030	88,93 a	10,74 b	45,89 a	134,77 b	68,42 a	144,09 a	4,20 a	2,21 b	3,96 b	8,34 a	5,82 a	6,61 b
CMSXS7031	81,13 a	14,62 a	34,83 c	130,28 b	59,32 b	141,52 a	3,44 a	2,30 b	3,79 b	8,09 a	6,70 a	6,19 b
CMSXS 7012	82,05 a	14,19 a	27,07 d	135,38 b	56,16 c	140,58 a	4,17 a	2,42 b	4,11 a	7,50 a	6,44 a	4,73 b
BRS716	97,61 a	16,44 a	44,71 a	145,00 a	67,31 a	138,37 a	4,37 a	2,57 a	4,56 a	9,92 a	6,94 a	6,12 b
CMSXS 7016	105,7 a	17,80 a	55,26 a	147,87 a	69,24 a	165,66 a	4,59 a	2,52 a	4,31 a	9,77 a	6,90 a	8,61 a
Volumax	58,66 b	10,55 b	19,47 d	114,8 c	60,03 b	93,05 b	2,62 b	1,76 c	2,05 c	8,91 a	6,94 a	6,37 b

BRS655	39,14 b	10,25 b	3,5 e	83,62 d	56,16 c	82,76 b	2,21 b	1,67 c	2,13 c	9,52 a	6,75 a	5,04 b
Média dos Híbridos	91,61	13,67	42,02	137,78	64,29	141,87	4,24	2,43	4,14	10,00	6,57	6,87
Média das Testemunhas	48,90	10,40	11,49	99,21	58,10	87,91	2,42	1,72	2,09	9,22	6,85	5,71