

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE
PLANTAS

TAIANA PAULA STRECK VENDRUSCOLO

Desempenho agroenergético de genótipos de sorgo biomassa

CÁCERES
MATO GROSSO – BRASIL
DEZEMBRO – 2016

TAIANA PAULA STRECK VENDRUSCOLO

Desempenho agroenergético de genótipos de sorgo biomassa

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. MARCO ANTONIO APARECIDO BARELLI

CÁCERES
MATO GROSSO – BRASIL
DEZEMBRO – 2016

Vendruscolo, Taiana Paula Streck

Desempenho agroenergético de genótipos de sorgo biomassa./Taiana Paula Streck Vendruscolo. – Cáceres/MT: UNEMAT, 2016.
93f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, 2016.

Orientador: Marco Antonio Aparecido Barelli

Co-orientadora: Carla Lima Corrêa

1. Sorgo. 2. Variabilidade genética - sorgo. 3. Sorgo – produção de matéria seca. 4. Sorgo - cogeração. I. Título.

CDU: 633.174

Ficha catalográfica elaborada por Tereza Antônia Longo Job CRB1-1252

Potencial agroenergético de genótipos de sorgo biomassa

TAIANA PAULA STRECK VENDRUSCULO

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 08 de dezembro de 2016.

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Marco Antonio Aparecido Barelli
PGMP-Unemat



Prof. Dr. Demétrio de Abreu Souza
IFMT-Cáceres



Prof. Dr. Juliana Parisotto Poletine
PAG-UEM

À minha mãe Rosana, por todo amor, carinho e amizade, pelo companheirismo, pela fé e orações.

Ao meu pai Guido Otavio, que sempre acreditou e me apoiou em todos os momentos.

Aos meus irmãos Junior Otavio e Diogo Guido, por serem tão especiais e pelo cuidado que sempre tiveram comigo.

Ao meu companheiro Raphael Monteiro Pires por ser a pessoa que alegra meus dias.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela saúde, sabedoria e pela vida.

À Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres – MT, em especial ao Laboratório de Recursos Genéticos e Biotecnologia, pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT, pela concessão da bolsa de estudo.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, em especial ao pesquisador Flavio Dessaune Tardin pelo apoio técnico.

Ao professor Dr. Marco Antonio Aparecido Barelli, pela orientação, ensinamentos, disposição e contribuição durante todo trabalho de pesquisa.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, por todos os ensinamentos que tornaram possível essa caminhada.

À minha família, Guido, Rosana, Junior e Diogo por serem meu alicerce, pelo apoio, dedicação e amor. Ao Raphael M. Pires pela compreensão, amor, e por tornar os meus dias mais felizes. Amo vocês.

Aos meus grandes amigos, Antônio, Fabio, Raiane e Marcilene, por tudo que passamos juntos, pelas alegrias, as preocupações e as dificuldades e na certeza de que a amizade vale mais do que tudo.

Aos meus amigos de Pós-Graduação, Thalita, Ariane, Patrícia, Paula e Camila pela agradável convivência durante o curso. Sempre terei a lembrança dos bons momentos.

Aos amigos do laboratório, Aline, Valvenarg, Bruno, Thallita e a Professora Carla Lima Corrêa pela ajuda, alegre convivência e atenção durante todo esse trabalho.

Aos bolsistas e voluntários do laboratório pela incansável ajuda nas jornadas em campo, para que este trabalho pudesse ser realizado.

E a todos, que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

TAIANA PAULA STRECK VENDRUSCOLO, filha de Rosana Orlanda Streck Vendruscolo e Guido Otavio Vendruscolo, nasceu em 30 de abril de 1992 na cidade de Luciara – MT.

Em 2009, completou o ensino médio pelo Colégio Estadual Professor João Rezende de Azevedo em Alto Boa Vista – MT.

No ano de 2013, foi diplomada em Tecnóloga em Biocombustíveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT.

Em fevereiro de 2015, ingressou no curso de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), em Cáceres – MT.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O sorgo: Origem, importância e aspectos econômicos	3
2.2. Características morfológicas e fenológicas do sorgo	5
2.3. Potencial energético e qualidade da matéria prima do sorgo biomassa	7
2.4. Melhoramento genético de sorgo visando a produção de bioenergia	11
2.5. Divergência genética e métodos Multivariados	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Caracterização da área experimental	17
3.2. Genótipos avaliados.....	18
3.3. Planejamento e condução do experimento	19
3.4. Avaliação de caracteres fenotípicos.....	20
3.5. Avaliação de características físico-químicas.....	20
3.6. Análises Estatísticas	22
3.6.1. Análise de variância univariada.....	22
3.6.2. Agrupamento entre as médias.....	23
3.6.3. Análise multivariada.....	24
3.6.3.1. Distância generalizada de <i>Mahalanobis</i>	24
3.6.3.2. Análise de agrupamento	25
3.6.3.2.1. Método de Otimização de Tocher.....	25
3.6.3.2.2. Método hierárquico de UPGMA	26
3.6.3.2.3. Coeficiente de correlação cofenética.....	26
3.6.4. Variáveis canônicas.....	27
3.6.5. Importância relativa dos caracteres.....	29
3.6.6. Estimadores de correlação genética.....	30
3.6.6.1. Teste de Multicolinearidade	32
3.6.6.2. Análise de trilha	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1. Análise de variância univariada.....	36
4.2. Parâmetros Genéticos	42
4.3. Análise multivariada	44

4.3.1. Distância generalizada de <i>Mahalanobis</i>	44
4.4. Análise de agrupamento pelo método de Tocher e UPGMA.....	47
4.5. Variáveis Canônicas	52
4.6 Importância relativa dos caracteres	55
4.7 Correlação genética	56
4.8. Análise de trilha.....	60
5. CONCLUSÕES.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

VENDRUSCOLO, Taiana Paula Streck, M. Sc., UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, Dezembro de 2016. **Desempenho agroenergético de genótipos de sorgo biomassa**. Professor Orientador: Marco Antonio Aparecido Barelli. Professores Conselheiros: Demétrio de Abreu Souza e Juliana Parisotto Poletine.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho agrônomo e energético de genótipos de sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], visando identificar materiais com alta produtividade para geração de energia térmica e caracterizar a divergência genética por meio de técnicas multivariadas. O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Recursos Genéticos & Biotecnologia, na Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, em Cáceres - MT. Foram avaliados 34 genótipos de sorgo biomassa em delineamento de blocos casualizados, com três repetições, e as variáveis analisadas foram: dias para florescimento, número de colmos, altura de plantas, número de folhas, produção de matéria verde, produção de matéria seca, teor de cinzas, teor de voláteis, lignina insolúvel e carbono fixo. Os dados foram submetidos à análise de variância e a análise multivariada com base na distância generalizada de *Mahalanobis* para estimar a divergência genética, empregando-se o método de agrupamento de Tocher, UPGMA, variáveis canônicas e importância relativa dos caracteres. As correlações genotípicas e seus desdobramentos em efeitos diretos e indiretos foram estimados por meio da análise de trilha. Houve diferenças significativas a 1% e 5% de probabilidade para as todas as características avaliadas, evidenciando a existência de variabilidade genética entre os genótipos de sorgo biomassa. Os genótipos 201429B006, 201429B009, 201429B018, 201429B020, 201429B030, 201429B032 e BRS716 foram os que apresentaram maior desempenho agrônomo para produção de matéria verde e seca com produtividade superior a 80 t ha⁻¹, aliados a um razoável desempenho energético. A combinação entre os pares de genótipos 201429B001 e 201429B028 ($D_{ii}^2 = 394,98$) foi a mais divergente e a combinação entre os genótipos 201429B015 e 201429B031 ($D_{ii}^2 = 6,31$) a mais similar. O agrupamento gerado pelo método de Otimização de Tocher, hierárquico UPGMA e dispersão gráfica demonstraram semelhança no agrupamento dos genótipos. As duas primeiras variáveis canônicas foram suficientes para explicar

cerca de 81,78 % da variação total observada. Foram observadas correlações genotípicas entre os caracteres agronômicos e físico-químicos. A seleção indireta de caracteres visando à produção de matéria seca é recomendada para os caracteres produção de matéria verde (0,8970) e número de folhas (0,3327) por apresentarem correlação favorável e significativa. A produção de matéria verde foi a característica que apresentou a mais alta correlação com produção de matéria seca e efeito direto alto (0,7017) e efeitos indiretos moderados sobre esta variável. Assim, genótipos com maior produção de matéria seca podem ser obtidos a partir da seleção de plantas com maior produção de matéria verde.

Palavras-Chave: Cogeração; Variabilidade genética; Produção de matéria seca.

ABSTRACT

VENDRUSCOLO, Taiana Paula Streck, M. Sc., UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO, December 2016. **Agro-energetic performance of biomass sorghum genotypes**. Advisor: Marco Antonio Aparecido Barelli. Conselors Teacher: Demétrio de Abreu Souza e Juliana Parisotto Poletine.

This study aimed to evaluate the energetic and agronomic performance of biomass sorghum genotypes [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], to identify individuals with high yield for thermal energy generation, and characterize the genetic divergence through multivariate technique. The experiment was conducted in the experimental area of the 'Laboratório de Recursos Genéticos & Biotecnologia', at the 'Universidade do Estado de Mato Grosso' - UNEMAT, Cáceres - MT. 34 genotypes of biomass sorghum were evaluated in a randomized block design, with three replication, and the evaluated variables were: flowering date, number of stems, plant height, number of leaves, green mass production and dry matter production, ash content, volatile content, insoluble lignin and fixed carbon. Data were submitted to variance analysis and multivariate analysis based on *Mahalanobis*' generalized distance to estimate the genetic divergence, on which was used the clustering Tocher method, UPGMA, canonical variables and relative importance of characters. Genotypic correlations and its display in direct and indirect effects were estimated through path analysis. There were significant differences at 1% and 5% probability level to all traits analyzed, evidencing the existence of genetic variability among the biomass sorghum genotypes. The genotypes 201429B006, 201429B009, 201429B018, 201429B020, 201429B030, 201429B032 and BRS716 had the greatest agronomic performance for green mass production and dry matter production, with yield higher than 80 t ha⁻¹, allied to a reasonable energetic performance. The combination between the pair of genotype 201429B001 and 201429B028 ($D_{ii}^2=394.98$) was the most divergent, and the combination between the genotypes 201429B015 and 201429B031 ($D_{ii}^2=6.31$) was the most similar. The cluster generated by the clustering Tocher method, UPGMA hierarchical and graphical dispersion were similar in grouping genotypes. The two first canonical variables were sufficient to explain about 81,78% of the total observed variation. It was detected genotypic correlation between the agronomic and physical-chemical characters. The indirect selection of characters aiming the dry

matter production is recommended to the green mass production characters (0.8970) and number of leaves (0.3327) due the favorable and significant correlation. Green mass production was the trait with higher correlation with dry matter production, with high direct effect (0.7017) and moderated indirect effect over this variable. Thus, genotypes with higher dry matter production may be obtained from the selection of plants with higher green mass production.

Keywords: Cogeneration; genetic variability, dry matter production.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia no Brasil em decorrência do aumento populacional e sustentabilidade econômico-ambiental, fez com que os resíduos vegetais ou biomassa lignocelulósica ganhassem destaque, demonstrando enorme potencial para a substituição de diversos combustíveis fósseis devido à sua abundância na natureza e às suas características físico-químicas (Johnson e Keith, 2004; IAC, 2016).

Estimativas apontam que o uso de energia renovável representa 79,3% da oferta interna no Brasil, deste total 28,6% é pelo emprego de biomassa, sendo este fracionado em: 16,1% de bagaço-de cana, 8,3% de lenha e carvão vegetal e 4,2% de outras fontes (Ben, 2014). A utilização de fontes renováveis de energia está se tornando cada vez mais necessária, frente aos impactos do aquecimento global, dessa forma espera-se que, para suprir a demanda mundial, a produção futura de combustíveis renováveis e sustentáveis requeira uma produção de biomassa consistente, contínua, e dedicada aos biocombustíveis (Damasceno, 2013; Castro, 2014).

Neste cenário houve um destaque para as chamadas biomassas dedicadas, utilizadas com a finalidade de atender ao mercado de biocombustão, que nada mais é do que a geração de eletricidade a partir da queima de biomassa (lignocelulósica) (Castro, 2014). No entanto, o crescimento na produção para atender esse novo cenário é lento, visto que a base fundamental deste negócio está alicerçada no cultivo e produção de biomassa vinda de eucaliptos, que, por característica genética, têm crescimento lento e instalação onerosa em relação as culturas anuais (May et al., 2013).

Visando suprir a necessidade crescente desse mercado, tem-se buscado dentro da matriz energética novas fontes de energia que possam atender a essa realidade brasileira. Nesse cenário, o sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L) Moench], se enquadra como uma cultura potencialmente energética e com amplo potencial de emprego na matriz energética.

O sorgo biomassa possui a particularidade de ser sensível ao fotoperíodo, conferindo alta produtividade de biomassa por hectare/plantio. E, além disso, quando comparado a outras culturas com potencial para biocombustão, como o

eucalipto, o sorgo biomassa se destaca por apresentar baixo custo operacional, ciclo curto, ampla adaptabilidade, baixa umidade, cultura totalmente mecanizável e alto poder calorífico em caldeiras (Parrella, 2010). Sendo assim, o plantio de sorgo biomassa em regiões de desenvolvimento energético, se torna ótima opção para os agricultores como forma de diversificar o seu negócio, além de fortalecer o agronegócio e a economia local (Castro, 2014).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho agrônômico e energético de genótipos de sorgo biomassa, visando identificar os materiais com alta produtividade para geração de energia térmica e caracterizar a divergência genética destes genótipos por meio de técnicas multivariadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O sorgo: Origem, importância e aspectos econômicos

A África Oriental é considerada como centro de origem do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], embora algumas evidências indiquem que possa ter havido duas regiões de dispersão independentes: África e Índia, onde se encontram atualmente, a maior variabilidade em espécies silvestres e cultivadas. O sorgo é uma cultura muito antiga que foi domesticado a cerca de 7000 mil anos, e a partir daí ocorreu sua expansão por diversas áreas agrícolas do mundo (Santos et al., 2005).

A produção de sorgo se dispersou para o Sul da África, Índia, Sul da Ásia, chegando até as províncias chinesas e Tailândia, introduzidas possivelmente pelas chamadas “rotas de seda”. O sorgo chegou ao Oriente um pouco mais tarde e, ao mesmo tempo, atingiu a Europa, através da Itália, provavelmente com sementes trazidas da Índia, por volta de 60 a 70 anos DC. Partindo também da Índia, o sorgo chegou à China no século III DC. Nas Américas, sua disseminação é bem mais recente, sendo que as primeiras introduções ocorreram no Caribe, trazidas por escravos africanos, e dessa região o sorgo atingiu o Sudoeste dos Estados Unidos, por volta da metade do século XIX, sendo utilizado basicamente na produção de xarope ou melaço (Lira, 1981; Ribas, 2003).

A partir dos anos 1960, os cientistas J.R. Uinby e J.C. Stephens criaram genótipos de sorgo, o que possibilitou o seu incremento em diversas regiões, como: Argentina; México; Austrália; China; Colômbia; Venezuela; Nigéria; Sudão; Etiópia. No Brasil, onde o sorgo foi mais recentemente introduzido através de escravos africanos, a cultura ficou conhecida a partir da década de 60 como milho d'Angola (Lira, 1981; Olivetti e Camargo, 1997).

Apesar de ser considerado uma cultura muito antiga, somente a partir do fim do século passado é que teve grande desenvolvimento em muitas regiões agrícolas, posicionando-se em quinto lugar entre os cereais mais plantados no mundo, após o trigo, arroz, milho e cevada (FAO, 2014).

No Brasil a cultura teve avanço significativo a partir da década de 70, quando a área plantada alcançou 80 mil hectares, concentrados principalmente no

Rio Grande do Sul e São Paulo (Lira, 1981). O desenvolvimento da cultura do sorgo no Brasil ocorreu prioritariamente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. O Sudeste e Centro-Oeste são as principais regiões de cultivo de sorgo granífero (produção de grãos), enquanto a região Sul predomina o plantio de sorgo forrageiro (produção de ensilagem) (Teixeira, 2014).

Outros tipos de sorgo como o sacarino e o biomassa tem ganhado destaque entre os agricultores como fonte de energia renovável. O interesse pela cultura do sorgo sacarino está relacionado ao setor sucroalcooleiro, abrangendo usinas principalmente, no Centro-Oeste e no Sudeste do Brasil, como negócio preferencial, ou mini usinas, como no Rio Grande Sul, por meio da agricultura familiar (May, 2013). De acordo com Scharr (2015) o sorgo biomassa teve seu lançamento no mercado há apenas 3 anos e vem ganhando espaço para queima direta em caldeiras. Em 2015, o plantio de sorgo biomassa alcançou a marca de 10 mil hectares, sendo que o setor sucroalcooleiro foi responsável por 40% da área cultivada, concentradas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Tocantins (Scharr, 2015).

Essa grande variabilidade entre os tipos de sorgo torna a cultura especial, por ser capaz de atender diversos mercados, interesses e necessidades em todo o mundo. Os países que lideraram a produção de sorgo em 2014 foram África, Ásia e América do Norte, com uma produção de 26,1, 9,7 e 8,5 milhões de toneladas (FAO, 2014). Na África e Ásia o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas, onde o cereal chega a compor 70% do consumo calórico diário, evidenciando importante papel deste grão na segurança alimentar (Mutissya, 2009), já na América do Norte sua produção é destinada principalmente à produção de rações (Rodrigues, 2010).

A América do Sul está na quinta posição como maior produtora de sorgo granífero no mundo, sendo que a Argentina e o Brasil lideram essa produção com 3,3 e 2,1 milhões de toneladas respectivamente (FAO, 2014). No Brasil, a área cultivada com sorgo foi de 698,8 mil hectares na safra 2015/2016, sendo que os estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso lideram a produção nacional com 800,4, 558,8 e 276,8 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2016).

2.2. Características morfológicas e fenológicas do sorgo

O sorgo é uma planta anual, pertencente à tribo Andropogoneas da subfamília Panicoidea, ordem Poales, família *Poaceae* (Gramíneas), gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor*. A espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench é uma espécie diploide contando com 10 pares de cromossomos ($2n = 2x = 20$) no seu genoma (Santos et al., 2005).

A planta de sorgo é formada pelas seguintes partes: colmo ereto suportado por um sistema radicular vigoroso com raízes seminais e adventícias com grande quantidade de pêlos absorventes e alto índice de lignificação periciclo, habilitando-o a tolerar períodos longos de veranico; folhas alternadas, lanceoladas, com bordas serrilhadas, com uma camada de serosidade, o número de folhas varia de 7 a 30 dependendo do genótipo, o entrenó superior é chamado de pedúnculo e a última folha de folha bandeira. A inflorescência é denominada panícula, com um eixo centro ou ráquis, de onde partem eixos secundários. As ráquis podem ser compactadas ou abertas, comprida ou curta, grossa ou fina e com eixos que partem de cada nó. Após o surgimento completo da folha bandeira, o crescimento da panícula e o crescimento do pedúnculo forçam este para fora da folha bandeira, conhecido como “emborrachamento”. Os racemos carregam as espiguetas aos pares, sendo uma séssil hermafrodita e uma pedicelada estaminada (Santos et al., 2005; Almeida Filho, 2012).

O sorgo é uma planta que apresenta flores andróginas, sendo basicamente uma espécie autógama. A fertilização se inicia no topo da panícula com duração de quatro a cinco dias. Ocorre a predominância de autofecundação e a taxa de fecundação cruzada varia de 2% a 10%, o pólen germina imediatamente se entra em contato com estigma receptivo, originado posteriormente as sementes (Durães, 2014).

A espécie de *Sorghum bicolor* possui ciclo C4, de rápido crescimento e alta eficiência fotossintética, com um dos maiores índices de energia acumulada, com taxas de fotossíntese das folhas que vão de 30 a 100 mg dm⁻² CO₂, dependendo do material genético, da intensidade da luz e da idade das folhas (Carrillo et al., 2014; Durães, 2014). A cultura apresenta ampla adaptabilidade, se adequando desde condições sub-tropicais à temperadas, possibilitando maior tolerância a seca e

resistência a salinidade (Almorades; Hadi, 2009). O sorgo consome 30 a 50% menos água comparado a outros cereais, como o milho e o trigo, tendo a capacidade de manter-se dormente durante o período de seca, graças as suas características xerofíticas e eficientes mecanismos morfológicos e bioquímicos (Landau e Sans, 2009).

Com a variabilidade morfológica observada nesta espécie ao longo da evolução e domesticação houve o agrupamento dos tipos de sorgo em função de suas características agrônômicas, produtos e usos, assim temos o sorgo sacarino; forrageiro; vassoura; granífero e sorgo biomassa (Castro, 2014).

O primeiro grupo inclui tipos de porte médio, com altura de planta superior a dois metros, caracterizado, principalmente, por apresentar colmo doce e succulento como o da cana-de-açúcar. A panícula (cacho) é aberta e produz poucos grãos se comparados ao sorgo granífero (Magalhães 2003; Damasceno 2011). Este tipo de sorgo tem ganhado destaque na agricultura, por ser considerada uma cultura com alto potencial energético, podendo ser utilizada como complemento na entressafra canaveira no Brasil (Almodares e Hadi, 2009; Giacomini et al., 2013).

O segundo grupo inclui tipos utilizados principalmente no patejo, corte verde, fenação e na produção de silagem, em função da alta produção de matéria verde (70 a 90 t ha⁻¹) e em virtude de suas características fenotípicas, as quais determinam facilidade de semeadura, manejo, colheita e armazenamento, aliadas ao alto valor nutritivo e concentração de carboidratos solúveis (Neumann, 2002). O terceiro grupo se caracteriza por possuir panícula laxa de ráquis curta e longas ramificações, além de grãos pequenos, caules secos e casca dura. As panículas são utilizadas para confecção de vassouras, tendo importância regionalizada no Rio Grande do Sul (Farias et al., 2000; Favarato et al., 2011).

O quarto grupo inclui tipos de porte baixo, altura entre 0,4 a 2 m que produz na extremidade superior, uma panícula (cacho), onde se localizam os grãos, principal produto deste tipo de sorgo (Filho, 2012). Os grãos podem ser utilizados na produção de farinha para panificação, amido industrial e álcool, já a palhada pode ser usada como feno ou cobertura de solo (Borém, 2005). O quinto grupo apresenta a particularidade de ser sensível ao fotoperíodo conferindo alta produção de biomassa, caule fibroso, porte alto (até 6 metros), ciclo de 150 a 180 dias e

propagação por sementes com total mecanização no processo de produção (Parrella, 2013).

Atualmente seu cultivo vem ganhando destaque devido a sua versatilidade como fonte de amido e lignocelulósica, fazendo com que este ocupe uma posição privilegiada como fonte de biomassa adaptável (Carrillo et al., 2014; Scharr, 2015).

2.3. Potencial energético e qualidade da matéria prima do sorgo biomassa

Biomassa do ponto de vista de geração de energia é toda matéria orgânica renovável que transforma a energia solar durante seu crescimento (processos fotossintéticos) em energia química, sendo essas armazenadas na forma de celulose, hemicelulose e lignina (Gani e Naruse, 2007; Kim, 2009).

A biomassa pode ser convertida em diversas formas úteis de energia sob diferentes processos, nos quais os principais são: combustão para conversão da energia térmica (calor) em elétrica (cogeração), através da queima de biomassa em caldeiras; gaseificação no qual ocorre a queima da biomassa em altas temperaturas para produção de gás combustível; pirólise, no qual ocorre a conversão de biomassa em líquidos (bio-óleo) ou carvão; e hidrólise química ou enzimática da fibra para obtenção de açúcares fermentáveis e produção de etanol (Horst, 2013).

Dentre as culturas que se destacam para uso da biomassa como insumo energético são: florestas energéticas, especialmente composta por espécies de rápido crescimento como o eucalipto e gramíneas semi-perenes, como a cana-de-açúcar, capim-elefante e o sorgo biomassa.

O eucalipto foi introduzido no Brasil em 1904, visando suprir as necessidades de lenha. Atualmente seu uso destina basicamente a produção de celulose e como carvão na geração de energia termoelétrica nas indústrias (Santos et al., 2014). No Brasil, o eucalipto leva aproximadamente cinco a oito anos até ser colhido e produz cerca de 250 toneladas por hectare, gerando uma produção de 50 t ha ano⁻¹. (Pratti, 2010). A cana-de-açúcar é utilizada no Brasil para produção de etanol e açúcar, ou para geração de energia elétrica por meio da queima do bagaço nas usinas sucroalcooleiras. A cana geralmente é colhida após 12 meses de plantio e produz neste tempo uma média de palha de 30 t ha⁻¹ (Oliveira et al., 2014). O capim-elefante foi introduzido no Brasil em 1920, estando hoje difundido em todo

território como uma promissora fonte para produção de energia, em função da alta capacidade de produção de biomassa que chega a 30 t ha ano⁻¹ (Borges et al., 2016). O cultivo do sorgo biomassa surgiu nos últimos anos frente a necessidade de novas demandas de biomassa vegetal e pelo interesse de novas usinas para a cogeração de energia elétrica em caldeiras de alta pressão. O sorgo biomassa se destaca em relação a outras culturas energéticas, como o eucalipto, cana-de-açúcar e capim-elefante em razão da alta produtividade que chega a 150 t ha ano⁻¹ de massa fresca. Adicionalmente o sorgo biomassa possui capacidade de atingir 50% de umidade em campo e elevado poder calorífico que chega a 4500 Kcal Kg⁻¹, se comparado ao eucalipto (4501 Kcal kg⁻¹), cana-de-açúcar (4274 Kcal kg⁻¹) e capim elefante (4200 Kcal kg⁻¹) (Quirino, 2004; Paula et al., 2011; Parrela et al., 2013; Borges et al., 2016).

Dentre as culturas citadas, o sorgo biomassa por ser mais recente, e o que possui maior escassez de informações voltadas a caracterização da qualidade da matéria-prima. Dessa forma, o desempenho de uma biomassa no processo de conversão em bioenergia está intimamente ligada com suas características químicas e estruturais, as quais podemos citar como sendo principais: teor de umidade; poder calorífico superior; teor de cinzas, voláteis, teor de lignina e carbono fixo (McKendry, 2002).

A umidade do material no momento da colheita é um fator importante que deve ser observado, já que este diminui a temperatura de combustão dificultando a queima do material em caldeiras. Segundo Neumann et al., (2002), uma alta proporção de colmos pode aumentar significativamente a umidade, pois são neles que estão localizados os mais altos níveis de umidade da planta.

Leonhardt et al. (2014), avaliando a influência da umidade da lenha de Eucalipto na produção de vapor em uma caldeira, verificou que uma diminuição de 15% da umidade, passando de 45 para 30%, acarreta um aumento na eficiência energética nas caldeiras de 35%.

No estudo de biomassas vegetais para fins energéticos, o poder calorífico é uma medida importante, pois avalia a energia liberada por massa do sólido quando queimado totalmente na presença de oxigênio. Quando se compara os valores de poder calorífico de sorgo biomassa (4411,37 Kcal kg⁻¹), obtidos por Castro (2014), com outros materiais com a mesma finalidade, como os estudos de Paula et al.

(2011), com: caule de milho (4211,88 Kcal kg⁻¹), bagaço de cana (4274,48 Kcal kg⁻¹), serragem madeira (4291,71 Kcal kg⁻¹) e pelo estudo de Quirino (2004), com madeira de Eucaliptus: *Eucalyptus saligna* (4580 Kcal kg⁻¹), *Eucalyptus pilularis* (4989 Kcal kg⁻¹) e *Eucalyptus grandis* (4501 Kcal kg⁻¹). Neste cenário, pode-se inferir que o sorgo biomassa possui poder calorífico satisfatório, podendo ser usado para biocombustão direta em caldeiras.

A análise imediata de uma biomassa fornece informações referentes à porcentagem de material volátil, carbono fixo e cinza, ou seja, fornece informações sobre a porcentagem do material que se queima no estado gasoso (material volátil), no estado sólido (carbono fixo) e do material residual (cinzas) (Brito e Barrichelo, 1978).

A proporção entre os componentes voláteis e carbono fixo influencia as características de queima do combustível pelo fato dos componentes voláteis, quando aquecidos, saírem do material e se queimarem rapidamente na forma gasosa, enquanto o carbono fixo queima-se vagorosamente na fase sólida como carvão, dessa forma maiores teores de carbono fixo e menores de voláteis são requeridos no processo de cogeração (Brito e Barrichelo, 1978). Da Silva et al. (2010), realizando a caracterização de madeira de *Eucalyptus benthamii* encontrou valores para o material volátil de 84% e de 16% para carbono fixo. Paula et al. (2011), analisando diferentes resíduos de biomassa vegetal quanto a capacidade energética encontrou valores de material volátil e carbono fixo para: bagaço de cana (82% e 17,16%); casca de arroz (66,36% e 17,30%) e serragem de madeira (78,89% e 21,03%).

O teor de cinza é o resíduo que fica após a ignição de uma amostra, e dependendo da magnitude deste teor a energia disponível do combustível é reduzida proporcionalmente, ocasionando a diminuição na transferência de calor (Burner et al. 2009). Dos Santos et al. (2014), realizando a avaliação da qualidade de fibra de duas variedades de sorgo biomassa sob diferentes adubações nitrogenadas e potássica obtiveram teores médios de cinzas de 4,74% para a variedade CMSXS 7020 e de 4,20% para CMSXS 652. Carrillo et al. (2014), investigando o efeito da lavagem de biomassa de sorgo em água sobre a qualidade da matéria prima, obtiveram teores médios de cinzas de 5,10% para a testemunha;

4,48% para lavagem simples; 4,21% para lavagem dupla e 4,15% para lavagem tripla.

Botrel et al. (2010), trabalhando com nove clones de eucalipto, encontraram teores de cinzas variando de 0,11% a 0,25%. Neves et al. (2011), analisando as características energéticas de dois clones de eucalipto, encontraram valores de cinzas variando de 0,65% a 0,88%. Alves et al. (2012), avaliando o potencial energético do capim-elefante, obtiveram teores de cinzas entre 10% a 12%, os autores observaram ainda que o alto teor de cinzas influenciou na queda do poder calorífico superior (3692,55 kcal kg⁻¹). Dessa forma, o eucalipto possui maior vantagem em relação ao sorgo biomassa e ao capim-elefante quanto ao teor de cinzas, já que menores teores acarretam maior eficiência energética.

A lignina é um dos principais componentes da biomassa vegetal, que juntamente com a celulose e hemicelulose formam os resíduos chamados de lignocelulósicos, que fornece força às plantas e também proteção ao ataque de pragas (Martini, 2009). O conhecimento do teor deste componente é fundamental, já que a lignina apresenta elevado poder calorífico (6100 Kcal kg⁻¹) em função de possuir alta resistência a degradação térmica, devido ao elevado número de carbonos presentes em sua estrutura e baixo teor de oxigênio, se comparado a celulose e hemicelulose (Petroff e Doat, 1978; Pereira et al., 2012)

Segundo Horst (2013), o teor de lignina pode variar de acordo com a variedade da espécie e de solo, características físico-químicas e método de análise utilizado. Hoffmann e Rooney (2014), estudando a composição de biomassa em seis linhagens de sorgo em diferentes estágios de crescimento encontraram teores médios de lignina que variaram entre 14% a 16%. Nagaiah et al. (2012), avaliando seis linhagens de sorgo biomassa quanto a qualidade de matéria-prima encontrou valores de lignina que variaram de 6,2% para 8,1%.

Estudos do teor de lignina também têm sido realizados em diferentes culturas com potencial energético. Dos Santos et al. (2001), avaliando a composição química do capim-elefante encontrou médias de 8,54% quanto ao teor de lignina. Esse resultado foi superior aos obtidos por Rodriguez et al. (1994) que encontraram 4,44% e Harthmann et al. (1996), 3,75%. Soares et al. (2014) encontraram teores de lignina que variaram de 29,89% a 30,30% em dois genótipos de Eucaliptos. Oliveira

et al. (2011), estudando a composição química do bagaço de cana-de-açúcar observou teores de lignina que variaram de 5,85% a 10,21%.

2.4. Melhoramento genético de sorgo visando a produção de bioenergia

No melhoramento do sorgo o conhecimento de informação sobre o desempenho de linhagens é crucial em programas de melhoramento, pois auxilia o melhorista na identificação, caracterização e quantificação da variabilidade genética disponível, bem como definir genótipos que sejam mais adaptados e produtivos para o estabelecimento de sistemas agropecuários sustentáveis (Oykunlea et al., 2015).

O sorgo possui uma gama de recursos genéticos disponíveis que podem auxiliar as estratégias de melhoramento clássico e biotecnológicas para torná-lo uma cultura dedicada à produção de biocombustíveis tanto de primeira como de segunda geração (Olson et al., 2012). Por ser uma espécie diploide de genoma relativamente pequeno, com completa sequência disponível e alta endogamia, avanços na área de genética em sorgo têm contribuído para esta gramínea se tornar modelo para análises genômicas funcionais e estruturais entre outras espécies vegetais geneticamente próximas, como a cana-de-açúcar (Damasceno, 2011).

Em sorgo, além da busca por homologia de sequências para a identificação de genes específicos, outras estratégias estão sendo utilizadas para a maximização da produção de biomassa por unidade de área plantada, a fim de minimizar o uso de área cultivável, como: aumento do conteúdo de açúcares em sorgo sacarino e aumento do conteúdo de lignina, visando poder calorífico para conversão da biomassa ou cogeração de energia, denominada bioeletricidade (Damasceno, 2011).

Pesquisas voltadas para obtenção de variedades de sorgo com alta produção de biomassa estão sendo realizadas no Brasil pela Embrapa Milho e Sorgo. O programa de melhoramento da Embrapa possui acessos genéticos de sorgo de alta biomassa, que em média podem chegar a mais de 30 t ha⁻¹ de matéria seca, sendo que alguns materiais já ultrapassaram produtividade de 50 t ha⁻¹ de matéria seca (Parrella et al., 2010, 2011).

Os programas de melhoramento de sorgo biomassa têm como objetivo alta produtividade de matéria seca, sendo que as principais características exploradas

são: elevada produção de matéria verde, baixa umidade, elevada porcentagem de matéria seca, baixo teor de cinzas e elevado teor de lignina (Da Silva, 2016).

Estudos realizados por Pereira et al. (2012), avaliando o desempenho agrônomo de 25 genótipos de sorgo biomassa (20 genótipos experimentais, três variedades experimentais e duas cultivares forrageiras), observaram que os genótipos exp-019 e exp-017 apresentaram as maiores médias quanto a produção de matéria verde ($104,18 \text{ t ha}^{-1}$; $99,84 \text{ t ha}^{-1}$) e matéria seca ($35,83 \text{ t ha}^{-1}$; $31,5 \text{ t ha}^{-1}$). Rabelo et al. (2014), avaliando 100 linhagens de sorgo biomassa quanto à altura de planta, peso de matéria verde e peso de matéria seca, observaram que os genótipos que apresentaram desempenho superior para produção de matéria seca foram: IS7399, IS7548, IS7566, IS7875, IS7302, IS7957, IS10824. Os autores concluíram que esses materiais apresentam-se como uma alternativa promissora no fornecimento de matéria-prima para produção de energia.

Nagaiah et al. (2012), avaliando seis linhagens de sorgo biomassa quanto ao seu potencial como substrato para produção de biohidrogênio por fermentação anaeróbia, observou que as linhagens IS27206, IS 16529 e IS 22868 apresentaram alto rendimento em biomassa, com produção de $90,5$, $82,7$ e $74,4 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

Silva et al. (2016), realizando a caracterização de 36 genótipos de sorgo biomassa na região Norte de Mato Grosso, encontraram maiores porcentagens de matéria seca nos genótipos 201429B026, 201429B001, BRS716, 201429B031, 201429B020, 201429B030, 201429B029, 201429B012, 201429B025, 201429B027, 201429B021, 201429B024, e 201429B032, indicando que esses genótipos possuem potencial para produção de bioenergia.

Dessa forma conclui-se que o sorgo biomassa possui potencial como gerador de energia nos processos de cogeração, uma vez que, apresenta características razoáveis em relação a qualidade de matéria-prima e produtividade de biomassa lignocelulósica por hectare.

2.5. Divergência genética e métodos Multivariados

Em programas de melhoramento de plantas o estudo sobre a diversidade genética existente e de fundamental importância na identificação de genitores com

potenciais diferenciados para futuras hibridações, visando obtenção de gerações futuras com maior potencial heterótico (Cruz et al., 2011). Dentre as ferramentas utilizadas para este fim, o uso de análises biométricas é de grande importância para a definição da estratégia de melhoramento genético, uma vez que facilita a escolha de genótipos superiores (Amaral Júnior, 1999; Cruz et al., 2004).

Em estudos de divergência genética vários métodos multivariados podem ser aplicados. Dentre esses, citam-se os de natureza preditiva, tomando como base aqueles que utilizam basicamente às diferenças morfológicas, fisiológicas ou moleculares, os métodos preditivos têm recebido maior atenção, pois dispensam a obtenção prévia das combinações híbridas (Cruz e Regazzi, 1997). Vários métodos multivariados podem ser empregados na predição da divergência genética, dentre os quais se destacam os métodos de agrupamento e variáveis canônicas. A escolha do método mais adequado tem sido determinada pela precisão desejada pelo pesquisador, pela facilidade da análise e pela forma como os dados são obtidos (Cruz e Regazzi, 1997; Cruz e Carneiro, 2003).

As distâncias Euclidiana média e generalizada de *Mahalanobis*, são amplamente utilizadas como medida de dissimilaridade nos métodos de agrupamento, sendo que a segunda é a mais utilizada, pois leva em consideração as correlações entre as características consideradas, que podem ser estimadas a partir das médias dos dados originais e da matriz de covariâncias residuais, ou a partir dos dados transformados (Cruz et al., 2004).

No método de variáveis canônicas, o objetivo é avaliar a similaridade dos genitores por intermédio de uma dispersão gráfica, em que se consideram, em geral, dois eixos cartesianos, enquanto que a análise de agrupamento tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, de tal forma que haja homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos (Cruz e Regazzi, 1997).

Dentre os métodos de agrupamento mais comumente utilizados no melhoramento de plantas, citam-se os hierárquicos e os de Otimização. Nos métodos hierárquicos, o agrupamento dos genitores é realizado por meio de um processo que se repete em vários níveis até que seja construído o dendrograma (Cruz et al., 2004).

Dentre os métodos que vêm sendo utilizado pode-se destacar o UPGMA que é um método de agrupamento com base na média aritmética e não considera a

estrutura de subdivisão do grupo, dando pesos iguais a cada indivíduo do grupo e calcula a similaridade média de um indivíduo que pretende se juntar aos grupos já existentes (Meyer, 2002). A distorção produzida no processo de agrupamento é estimada por um coeficiente de correlação cofenética (CCC) proposto por Sokal e Rohlf (1962). Este coeficiente é determinado como bom, quando o mesmo apresenta valores iguais ou superiores a 0,7, demonstrando concordância entre os valores originais da matriz de dissimilaridade e os elementos da matriz cofenética (Cruz e Carneiro, 2006).

Entre os métodos de Otimização, o método de Tocher é o mais empregado pelos melhoristas. Esse método requer a obtenção da matriz de dissimilaridade, onde se assume que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que a distância média entre os grupos (Cruz e Regazzi, 1997; Cruz et al., 2004).

Outra medida importante para determinar a variabilidade genética é a importância relativa dos caracteres. A importância relativa dos caracteres estimada pelo método Singh (1981), auxilia no descarte de variáveis, possibilitando uma melhor escolha de caracteres a serem considerados numa avaliação de divergência genética entre populações ou genótipos (Sakaguti, 1994). O descarte de caracteres mediante essa técnica multivariada pode ser feito por meio dos maiores coeficientes a eles associados, partindo-se das últimas variáveis canônicas. Após a eliminação de caracteres, a primeira variável canônica envolvera quase toda a variância estimada. Assim, os autovetores da primeira variável canônica associada aos caracteres não eliminados indicaram as variáveis de maior importância na avaliação dos genótipos (Cruz et al., 2012)

Em programas de melhoramento, além de indicar os caracteres de maior contribuição para a divergência genética total, é necessário conhecer a associação entre os caracteres estudados, principalmente se a seleção de uma delas apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade ou, tenha dificuldade de medição e identificação (Cruz et al., 2012). Além disso, para o melhorista, o objetivo é conhecer as modificações que ocorrem em um determinado caráter em função da seleção praticada em outro correlacionado a ele, já que têm-se a preocupação de aprimorar o material genético não para caracteres isolados, mas para o conjunto destas (Ramalho et al., 1993).

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 negativa, os caracteres são inversamente relacionados; já quando é positiva, os caracteres variam na mesma direção e quando não possui associação linear a correlação é nula (Ramalho et al., 2012).

A correlação que pode ser diretamente mensurada a partir de medidas de dois caracteres, em certo número de indivíduos na população é a fenotípica, que é subdividida em genotípica e ambiental. Sendo que, somente as correlações genéticas envolvem uma associação de natureza herdável, podendo, por conseguinte, ser utilizada em programas de melhoramento (Cruz et al., 2004). A correlação genotípica é causada, principalmente, por pleiotropia, causa principal, e por ligações gênicas, causa temporária (Falconer e Mackay, 1996).

Enquanto nas correlações ambientais os dois ou mais caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições ambientais, isso implica que valores negativos favorecem um caráter em detrimento do outro, e quando é positivo indica que ambos são beneficiados ou prejudicados por causas ambientais. As correlações genotípicas tendem a apresentar o mesmo sinal que as ambientais, porém, sinais diferentes indicam que as causas da variação genética e ambientais influenciam os caracteres por meio de diferentes mecanismos fisiológicos (Falconer, 1987). Os sinais dos coeficientes de correlação fenotípica e genotípica podem ser diferentes, porém quando isso ocorre, geralmente é devido a erros amostrais (Cruz e Regazzi, 1997).

Os coeficientes de correlação, apesar de serem de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção de caracteres complexos, não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores, dessa forma, a fim de se melhor conhecer as causas e efeitos entre os caracteres, Wright (1921), desenvolveu um método denominado análise de trilha ou *Path analysis*, posteriormente pormenorizada por Li (1975), que proporciona uma melhor compreensão das associações entre os caracteres, através do desdobramento das correlações simples. Estes efeitos são obtidos por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (Cruz et al., 2004).

De acordo com Li (1956), o coeficiente de trilha é um método que analisa um sistema de múltiplas variáveis de modo linear, e inclui todos os fatores básicos

(causas) e suas variáveis resultantes (efeitos), de modo a conferir as inter-relações entre os caracteres para a construção do diagrama de trilha. Através do diagrama de trilha é possível determinar a importância de caracteres primários e secundários da cultura, e nortear a seleção indireta de genótipos promissores através de caracteres de interesse (Cruz et al., 2012). Dessa forma, a metodologia do coeficiente de trilha, pode, então, melhor auxiliar o melhorista, por permitir a visualização do efeito direto que um caráter causa no outro e os efeitos indiretos dos outros caracteres relacionados (Paiva et al., 1982).

Os estudos de divergência genética, com a utilização de análise multivariada, têm sido proveitosos para a constituição de grupos com alta similaridade e para escolha de genitores divergentes nos programas de melhoramento (Rangel et al., 1991).

Esses métodos de análise têm sido utilizados por vários autores em diferentes culturas como: sorgo (Cunha et al., 2009; Cunha e Lima, 2010; Tabosa et al., 2012; Souza et al., 2012; Fiorine, 2014; Perazzo et al., 2014; Rocha et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Oliveira et al., 2015), cana-de-açúcar (Silva, 2006; Dutra Filho et al., 2011; Silva et al., 2011; Silveira et al., 2015), milho (Ferreira et al., 1995; Paixão et al., 2008; Conceição et al., 2010; Simon et al., 2012; Rios et al., 2012; Entringer et al., 2014; Carvalho et al., 2016), Eucaliptus (Trugilho et al., 1997; Soares et al., 2014) e em capim-elefante (Carpejani, 2008; Menezes et al., 2014; Rocha et al., 2014; Rocha, 2015; Borges et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com 34 genótipos de sorgo biomassa oriundos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Milho e Sorgo, situada em Sete Lagoas – MG.

3.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em solo do tipo Latossolo vermelho amarelo distrófico, no período de Dezembro a Julho de 2014/2015, na área experimental do Laboratório de Recursos Genéticos & Biotecnologia, pertencente à Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Cáceres (16°11'42" S e 57°40'51" O), altitude de aproximadamente 118 m. A temperatura média anual da região é de 26 °C, com precipitação média anual de 1.335 mm, com período de maior concentração de dezembro a março (Neves et al., 2011).

Os dados climatológicos de temperatura e umidade (máxima e mínima, respectivamente) no período de condução do experimento, encontram-se na Figura 1 e 2 (INMET, 2015).

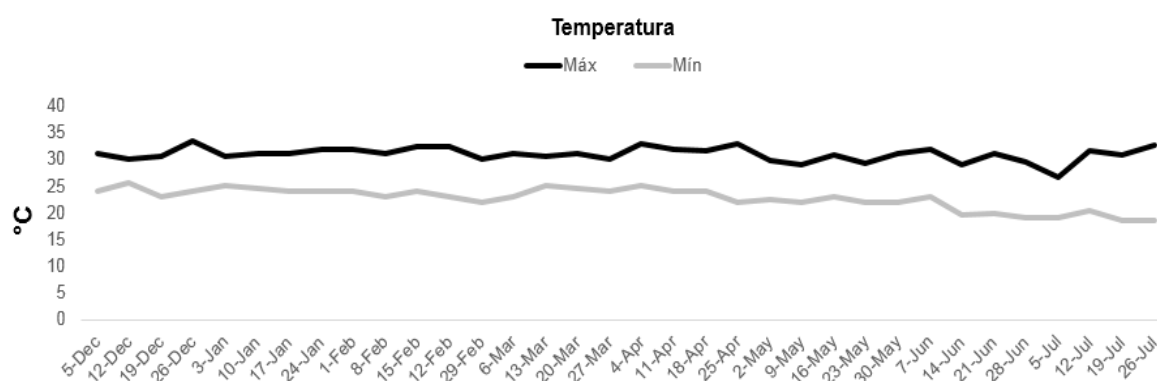


Figura 1 - Temperatura máxima e mínima do período de 05 de dezembro de 2014 a 26 de julho de 2015 em Cáceres - Mato Grosso.

Através da Figura 1 observa-se que a temperatura apresentou variação de 19 °C a 33,5 °C entre os meses de dezembro de 2015 a julho de 2016. Também observa-se que os meses de junho e julho registraram temperaturas mais baixas,

enquanto que os meses de dezembro e abril apresentaram temperaturas elevadas, com médias superiores a 31 °C.

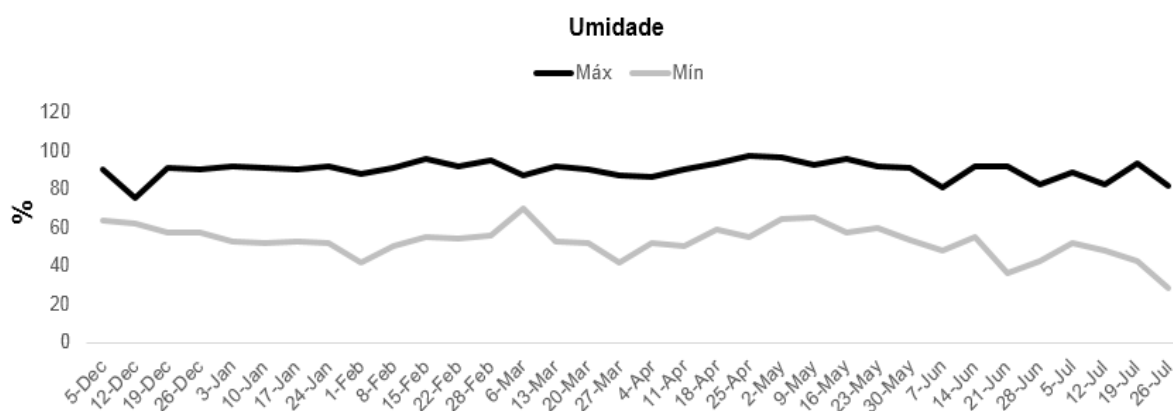


Figura 2 - Umidade máxima e mínima do período de 05 de dezembro de 2014 a 26 de julho de 2015 em Cáceres - Mato Grosso.

Através da Figura 2 observa-se que a umidade apresentou variação de 28,3% a 96,2% entre os meses de julho e maio de 2016. Também observa-se que os meses fevereiro e maio registraram as maiores médias de umidade do ar, com valores superiores a 92%, este fato justifica-se em função do maior número de chuvas registrado nesse período. Já os meses de junho a julho registrou as menores médias de umidade relativa do ar, já que esse período é marcado pelo fim das chuvas na região de Cáceres.

3.2. Genótipos avaliados

Foram avaliados 34 genótipos de sorgo biomassa, sendo todos eles genótipos sensíveis ao fotoperíodo: 201429B001; 201429B002; 201429B003; 201429B004; 201429B005; 201429B006; 201429B007; 201429B008; 201429B009; 201429B010; 201429B011; 201429B012; 201429B013; 201429B014; 201429B015; 201429B016; 201429B017; 201429B018; 201429B019; 201429B020; 201429B021; 201429B022; 201429B023; 201429B024; 201429B025; 201429B026; 201429B027; 201429B028; 201429B029; 201429B030; 201429B031; 201429B032; 201429B033 e BRS716 oriundos do Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas - MG.

3.3. Planejamento e condução do experimento

A amostragem do solo foi feita na camada de 0 a 20 cm, as características químicas do solo utilizadas foram: pH = 5,4; P = 4,7 mg dm⁻³; K = 77,1 cmol_c dm⁻³; Ca⁺² = 3 cmol_c dm⁻³; Mg⁺² = 0,8 cmol_c dm⁻³; H + Al = 2,3 cmol_c dm⁻³; M. O = 13,2 g dm⁻³ e as físicas: Areia = 72,5 g.kg⁻¹; Silte = 12,6 g kg⁻¹; Argila = 14,6 g kg⁻¹.

A correção da fertilidade e as adubações de plantio e cobertura foram realizadas considerando a análise química do solo. Os tratamentos receberam a mesma adubação de macro nutrientes, sendo 150 kg ha⁻¹ do formulado mineral 20-05-20 N-P₂O₅-K₂O e 375 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio e a adubação de cobertura foi realizada aos 45 e 80 dias do plantio utilizando 89 kg ha⁻¹ de uréia.

O plantio foi realizado adotando o sistema convencional, no qual o solo foi arado e gradeado. A semeadura foi realizada no dia 05 de dezembro de 2014, com densidade de 3 g de sementes por linhas de 5m. Para o plantio os sulcos foram abertos manualmente por meio de um enxadão com espaçamento de 70 cm entre as linhas, onde as sementes foram dispostas uniformemente a uma profundidade de 3 a 4 cm.

O ajuste populacional foi realizado 10 dias após o plantio, deixando 10 plantas por metro linear, determinando uma população de 142,85 mil plantas ha⁻¹ de área útil.

O experimento foi conduzido em um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram constituídas por quatro linhas de plantio espaçadas de 0,70 m entre si, com 5 m de comprimento, sendo as duas linhas centrais consideradas como úteis para coleta e observação de dados.

O controle químico para pragas foi realizado de acordo com o nível de infestação. Realizou-se a aplicação de Imidacloprido e Beta-ciflutrina para controle *Spodoptera frugiperda* na dosagem de 6,5 L e herbicida seletivo, de ação sistêmica, de pré e pós emergência precoce do grupo químico Triazina (3L ha⁻¹) para controle de plantas daninhas, complementando pelo controle manual quando necessário.

A colheita dos genótipos foi realizada no final de junho e início de julho de 2015 quando os grãos apresentaram maturação fisiológica no estágio farináceo, pois nesse período é que se encontra as maiores porcentagens de matéria seca (Parrella, 2013).

3.4. Avaliação de caracteres fenotípicos

As características agronômicas avaliadas foram (Parrella et al., 2011):

- a)** Dias para florescimento (FLOR): número de dias da sementeira até o início da liberação do pólen em 50% das plantas da parcela.
- b)** Altura da planta (AP): altura média em metros de 10 plantas de cada parcela, medidas na base da planta até o ápice da panícula;
- c)** Número de colmos (NC): número médio de colmos obtidos de 10 plantas da área útil da parcela;
- d)** Número de folhas (NF): número médio de folhas obtidas de 10 plantas da área útil da parcela;
- e)** Produção de massa verde (PMV): determinada em Kg/parcela, através da pesagem de 10 plantas inteiras (sem panícula) da área útil da parcela. Os dados de PMV foram convertidos para t ha⁻¹.
- f)** Produção de massa seca (PMS): determinada pela diferença de peso existente entre amostras do material recém-colhido (PMV) e após ser submetido secagem em estufa de aeração forçada a 65 °C por 72 horas. Os dados de PMS foram convertidos para t ha⁻¹.

3.5. Avaliação de características físico-químicas

As avaliações físico-químicas foram realizadas na UNEMAT – Cáceres/MT e na EMBRAPA Agrossilvipastoril – Sinop/MT.

- a)** Determinação de Cinzas Totais (CZ): O procedimento adotado para determinação de cinzas totais seguiu a norma ABNT NBR 13999 (2003), pesa-se 1 g de material em balança analítica com precisão de 0,0001 g, a qual foi transferida para um cadinho de porcelana, previamente tarado. A amostra foi calcificada a 525 °C durante 4 horas em forno mufla. Essas amostras foram retiradas da mufla, pesadas e foi realizado o cálculo do teor de cinzas do material conforme a equação:

$$CZ = \frac{100 \times N}{A}$$

Onde: Tc = teor de cinzas, em %; N = nº de g de resíduo seco e A = nº de gramas da amostra.

b) Determinação do Teor de Voláteis (VL): Um grama de biomassa foi pesada em balança analítica com precisão de 0,0001 g, colocados em cadinho de porcelana com tampa, previamente seco e tarado. O cadinho contendo a amostra foi colocado sobre a porta da mufla previamente aquecida a (950 °C), permanecendo nesta posição durante 3 minutos, após esse tempo a amostra foi introduzida no interior da mufla por 7 minutos com a porta fechada. Depois disto a amostra foi então colocada em um dessecador para resfriamento da mesma e posterior pesagem (ABNT NBR 8112, 1983).

O teor de voláteis foi determinado pela equação a seguir:

$$VL = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100$$

Tv = teor de voláteis, em %

m₂ = massa inicial cadinho + amostra, em g

m₃ = massa final do cadinho + amostra, em g

m = massa da amostra, em g

c) Determinação Teor de Carbono Fixo (CF): O teor de carbono é uma medida indireta, sendo determinando seguindo a norma ABNT NBR 8112 (1983) por diferença através da equação, a qual se baseia em:

$$CF = 100 - (Tc + Tv)$$

Onde: CF = teor de carbono fixo, em %; Tc = teor de cinzas, em % e Tv = teor de voláteis, em %

d) Lignina Insolúvel (LI): Amostras de 2 g de biomassa, pesadas com precisão de 0,0001 g foram transferidas para béqueres de 100 mL e tratadas com 10 mL de H₂SO₄ 72% v/v, sob vigorosa agitação a 45 °C por 7 min. As amostras foram transferidas quantitativamente para frascos erlenmeyers de 500 mL, adicionando-se o volume de 275 mL de água destilada. Os erlenmeyers foram fechados com papel alumínio e autoclavados por 30 min a 121°C. Após a descompressão da autoclave, os frascos foram retirados e resfriados à temperatura ambiente, sendo a fração

sólida separada da fração líquida por filtração em papel de filtro qualitativo. Lignina insolúvel foi determinada de acordo com o método Klason modificado por Rocha et al. (1997). O material retido no papel de filtro foi lavado com 1500 mL de água destilada, transferido para pesa-filtros para secagem em estufa a 100 °C até massa constante. A percentagem de lignina insolúvel foi calculada em relação à massa de amostra seca conforme a equação:

$$L_{ki} = \frac{M_k - M_c}{M_a} \times 100$$

Onde: L_{ki} = Lignina Klason insolúvel, em %; M_k = massa lignina insolúvel, em g; M_c = massa cinzas, em g e M_a = massa amostra seca, em g.

3.6. Análises Estatísticas

3.6.1. Análise de variância univariada

Antes das análises, foram realizados testes de normalidade e homogeneidade para verificar se os dados coletados atendiam aos pressupostos da ANOVA e para o caso de não atendimento destes pressupostos foi empregado a transformação com base em \sqrt{x} (Banzatto e Kronka, 2013).

A análise de variância para os 34 genótipos foi realizada com base nas médias obtidas de dez plantas coletadas por parcelas, considerando as características agrônômicas avaliadas, e para as características físico-químicas foi utilizada as médias obtidas de triplicadas, visando avaliar a existência de variabilidade genética significativa entre os tratamentos.

O efeito do genótipo como fixo considerando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + g_i + b_j + r_{ij}$$

em que:

Y_{ij}: valor do tratamento i na repetição j;

m: média geral;

g_i: efeito do genótipo i, i = 1, 2,...I;

b_j: efeito da repetição j, j = 1, 2,...J;

r_{ij}: erro experimental associado à parcela ij.

O esquema da análise de variância e as esperanças de quadrados médios para a fonte de variação do modelo estatístico são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise de variância das características analisadas

FV	GL	SQ	QM	E(QM)	F
Blocos	b-1	SQB	QMB	$\sigma_e^2 + g\sigma^2 b$	
Genótipo	g-1	SQG	QMG	$\sigma_e^2 + b\phi g^2$	QMG/QME
Resíduo	(b-1)(t-1)	SQR	QMR	σ_e^2	

onde:

$$SQB = \frac{1}{g} \sum_{j=1}^b Y_{.j}^2 - \frac{Y_{..}^2}{gb}$$

$$SQG = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^g Y_{i.}^2 - \frac{Y_{..}^2}{gb}$$

$$SQR = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{gb}$$

$$SQR = SQT - (SQB + SQG)$$

3.6.2. Agrupamento entre as médias

A análise de agrupamento tem como objetivo discriminar geneticamente os indivíduos, e permite separá-los em grupos pela análise conjunta de características inerentes a cada indivíduo, agrupando-os por algum critério de classificação, de modo que haja homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos (Cruz et al., 2004). Foi utilizado o teste de Scott-Knott (1974), em nível de significância de 5% de probabilidade, para agrupar as médias entre as colunas.

3.6.3. Análise multivariada

Dentre os procedimentos utilizados para estimar a divergência genética, os métodos multivariados, em que diversos variáveis podem ser testadas simultaneamente, têm oferecido contribuições efetivas em programas de melhoramento de plantas. A estimativa da divergência genética entre os genótipos foi avaliada por meio da Análise de Variáveis Canônicas, posteriormente, realizando as análises pelos métodos de agrupamento de Otimização de Tocher (Rao, 1952) e o método hierárquico de Agrupamento Médio Entre Grupos (UPGMA), com base na matriz de *Mahalanobis*.

3.6.3.1. Distância generalizada de *Mahalanobis*

A distância generalizada de *Mahalanobis* leva em consideração as variâncias e covariância residuais que existem entre as características mensuradas, possíveis de serem quantificadas quando se dispõem de informações de ensaios experimentais. As estimativas das distâncias generalizada de *Mahalanobis* são obtidas através da expressão:

$$D_{ii'}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta$$

em que:

$D_{ii'}^2$: distância de *Mahalanobis* entre os genótipos i e i';

ψ : matriz de variâncias e covariâncias residuais;

δ ': [d_1 d_2 ... d_v], sendo $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$;

Y_{ij} = média do i-ésimo genótipo em relação ao j-ésimo caráter.

Através da distância de *Mahalanobis* tem-se a possibilidade de estimação da diversidade genética, além da quantificação da contribuição relativa dos caracteres para a divergência genética utilizando-se o critério proposto por Singh (1981), baseado na estatística S.j. Considerando-se que:

$$D_{ii'}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta = \sum_{j=i}^n \sum_{j'=i}^n \omega_{jj'} d_j d_{j'}$$

em que $\omega_{jj'}$ é o elemento da j-ésima linha e j'-ésima coluna da inversa da matriz de variâncias e covariâncias residuais.

3.6.3.2. Análise de agrupamento

Os genótipos foram agrupados seguindo os critérios de dissimilaridade pelo método de Otimização de Tocher utilizando o programa computacional Genes (Cruz, 2015) e pelo método Hierárquico de Agrupamento Médio entre os grupos (UPGMA), através do programa computacional livre R (R Development Core Team 2016).

3.6.3.2.1. Método de Otimização de Tocher

O método de Otimização de Tocher foi realizado utilizando a matriz de distância de *Mahalanobis*. Este método segue como critério de inclusão de que a média das medidas de dissimilaridade, dentro de cada grupo, deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos (Cruz, 2006). O valor máximo da distância dentro do grupo (θ) pode ser estabelecido arbitrariamente. A inclusão de um grupo é aceita quando:

$$\frac{d_{(ij)k}}{n} \leq \theta$$

Considerando que:

$$d_{(ij)k} = d_{ij} + d_{jk}$$

em que:

$d_{(ij)k}$ = distância entre o grupo ij o genótipo k;

d_{ik} = distância entre o genótipo i e k;

d_{jk} = distância entre o genótipo j e k;

3.6.3.2.2. Método hierárquico de UPGMA

O método hierárquico UPGMA, por se tratar de um método de agrupamento não ponderado, realiza a distribuição dos indivíduos no dendrograma sem seguir um critério de formação de grupos, uma vez que o principal aspecto desse método consiste nas ramificações ou diagramas que são obtidos. Os genótipos avaliados são agrupados aos pares, utilizando médias aritméticas da dissimilaridade. O dendrograma prioriza os indivíduos mais similares, os quais são reunidos, formando grupo inicial, a partir daí calcula-se as distâncias entre um indivíduo k e um grupo formado pelos indivíduos i e j por:

$$d_{(ij)k} = \frac{d_{ik} + d_{jk}}{2}$$

onde, $d_{(ij)k}$ é dada pela média das distâncias dos pares de indivíduos (i e k) e (j e k), dessa forma, uma nova matriz de dissimilaridade é construída, reduzindo-se a sua dimensão passo a passo. Com a construção do dendrograma novas distâncias serão estimadas, se um genótipo k for incorporado a um grupo (ij), a distância deste novo grupo (ij.k) em relação ao outro genótipo (l) ou a outro grupo (lm) será dado por:

$$d_{(ij.k)l} = \frac{d_{il} + d_{jl} + d_{kl}}{3}$$

e

$$d_{(ij)lm} = \frac{d_{il} + d_{im} + d_{jl} + d_{jm} + d_{kl} + d_{km}}{6}$$

3.6.3.2.3. Coeficiente de correlação cofenética

O coeficiente de correlação cofenética (CCC) é uma das formas de se verificar a concordância entre a matriz de similaridade original e a matriz resultante da simplificação proporcionada pelo método de agrupamento (matriz cofenética C).

De acordo com a expressão proposta por Bussab et al. (1990).

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (c_{ij} - \bar{c})(d_{ij} - \bar{d})}{\left(\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (c_{ij} - \bar{c})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (d_{ij} - \bar{d})^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

em que :

$$\bar{c} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij}$$

$$\bar{d} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij}$$

c_{ij} = é o valor da distância entre os indivíduos i e j na matriz cofenética;

d_{ij} = é o valor da distância entre os mesmos indivíduos na matriz original de distâncias; e

n = é a dimensão da matriz.

O coeficiente de correlação cofenética, varia entre 0,0 e 1,0 e quanto maior o valor obtido para o CCC, menor será a distorção provocada pelo agrupamento dos indivíduos. Dessa forma, Monteiro et al. (2010), ressalta que quanto mais próximo da unidade, melhor a representação da matriz de dissimilaridade na forma de dendrograma.

3.6.4. Variáveis canônicas

A técnica de variáveis canônicas permite a simplificação no conjunto de dados, resumindo as informações, contidas em um grupo de variáveis, em poucas variáveis, que apresentam as propriedades de reter o máximo da variação originalmente disponível e de ser independente entre si. Entretanto, esta técnica baseia-se em informações entre e dentro de genótipos, havendo a necessidade de dados experimentais com informações de repetições, de modo que seja possível obter as médias de dispersão (matriz de variâncias e covariâncias) residual entre os dados (Cruz, 2006).

As seguintes propriedades são verificadas:

a) Se Y_{ij} é uma variável canônica, é definida pela seguinte combinação linear:

$$Y_{ij} = a_1X_{i1} + a_2X_{i2} + \dots + a_vX_{iv}$$

b) Se Y_{ij} é uma variável canônica, tem-se uma nova combinação linear, dada por:

$$Y_{ij'} = b_1X_{i1} + b_2X_{i2} + \dots + b_vX_{iv}$$

e

$$\sum_j \sum_{j'} a_j a_{j'} \sigma_{jj'} = \sum_j \sum_{j'} b_j b_{j'} \sigma_{jj'} = 1 \quad \sum_j \sum_{j'} a_j b_{j'} \sigma_{jj'} = 0$$

em que $\sigma_{jj'}$ é a covariância residual entre os caracteres j e j' .

a) Entre todas as variáveis canônicas, Y_{i1} apresenta a maior variância, Y_{i2} apresenta a segunda maior e assim sucessivamente.

Admitindo que a matriz T seja a matriz de covariância entre as médias dos genótipos, a matriz E , seja a matriz da covariância residual, verifica-se que, após a condensação pivotal, as variáveis transformadas apresentam matriz de covariância entre médias dada por T^* e a matriz de covariâncias residuais igual à identidade ($E^*=I$) (Cruz e Carneiro, 2006).

A transformação é obtida por meio de $Z' = VX$, em que:

Z : matriz $g \times n$ de médias transformadas de g genótipos em relação aos v caracteres;

X : matriz $g \times n$ de médias originais; e

V : matriz $n \times n$ de transformação, obtida pelo processo de condensação pivotal.

As estimativas dos autovalores, que medem a variância de cada variável canônica, são obtidas através de:

$$\det(T^* - I\lambda) = 0$$

que equivalem aos autovalores obtidos de:

$$\det(E^{-1}T - I\lambda) = 0.$$

As estimativas dos autovetores associados às variáveis transformadas por condensação pivotal são obtidas por:

$$(T^* - I\lambda) \alpha = \phi$$

onde α representa o autovetor cujos elementos são coeficientes de ponderação das variáveis obtidas por condensação pivotal.

As estimativas dos coeficientes de ponderação associados às variáveis originais permitem avaliar a contribuição de cada característica para uma determinada Variável Canônica. Estes coeficientes constituem o autovetor a , que pode ser obtido de α ou a partir do sistema:

$$(E^{-1}T - I\lambda) a = \phi$$

A análise gráfica, em estudos de comparação da similaridade entre genótipos, deve ser considerada quando for possível resumir em poucas variáveis (até três) mais de 80% da variação total disponível. Assim, considera-se que:

$$C_1 = \alpha_{11}Z_1 + \alpha_{12}Z_2 + \dots + \alpha_{1n}Z_n = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n$$

...

$$C_n = \alpha_{n1}Z_1 + \alpha_{n2}Z_2 + \dots + \alpha_{nn}Z_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n$$

Em C_1, C_2, \dots, C_n , tem-se:

$$\sum_j \alpha_{jj}^2 = 1, \text{ para cada } j' = 1, 2, \dots, n;$$

e

$$\sum_j \alpha_{jj'} \alpha_{jj''} = 0, \text{ para qualquer par } j' \text{ e } j'' \text{ de Variáveis Canônicas estimadas.}$$

Estimados os coeficientes $\alpha_{jj'}$, podem ser calculados os coeficientes $a_{jj'}$, associados as variáveis originais, por meio de:

$$[a_{j1} \ a_{j2} \ \dots \ a_{jn}] = [\alpha_{j1} \ \alpha_{j2} \ \dots \ \alpha_{jn}] V.$$

Com a determinação do número de Variáveis Canônicas, envolvendo no mínimo 80% da variação, podem-se estimar os escores relativos às primeiras Variáveis Canônicas, utilizando a dispersão gráfica dos genótipos, permitindo uma análise visual das divergências entre eles.

3.6.5. Importância relativa dos caracteres

A Importância Relativa das Características, no estudo da diversidade dos acessos avaliados, pode ser quantificada por intermédio das Variáveis Canônicas,

sendo fundamental que, ao realizar-se inferências sobre as características analisadas, os efeitos de escala de mensuração sejam eliminados. Dessa forma, os coeficientes a_j s devem ser multiplicados pelo desvio-padrão do erro experimental, de modo que $\theta_j x_j = a_j \hat{\sigma}_j \left(X_j / \hat{\sigma}_j \right)$, logo $\theta_j = a_j \hat{\sigma}_j$. Portanto, os valores θ_j medem a importância relativa de uma característica em cada Variável Canônica (Cruz e Carneiro, 2003).

Com base no princípio de que a importância relativa das Variáveis Canônicas decresce da primeira para a última, a variável com maior coeficiente de ponderação no componente de menor autovalor por ser descartada, por apresentar relevância para uma Variável Canônica de participação pequena, ou desprezível, na variação total. Para o descarte de novas variáveis, procede-se da seguinte forma: na penúltima Variável Canônica, identifica-se o maior elemento e, caso este esteja associado à característica já descartada, passa-se imediatamente para a antepenúltima Variável Canônica, sem identificar na Variável Canônica anterior uma segunda característica de menor importância. Caso contrário, identifica-se o maior elemento na penúltima Variável Canônica, e, conseqüentemente, a segunda característica menos importante torna-se definida. O procedimento, assim, continua até alcançar-se a primeira Variável Canônica, classificando-se as características originais quanto aos graus relativos de participação na dispersão geral dos acessos em estudo (Amaral Junior, 1996).

3.6.6. Estimadores de correlação genética

A associação da correlação entre caracteres pode ser mensurada a partir de medidas entre caracteres, podendo ser avaliada a correlação genética. Para estimar os coeficientes de correlação genotípica, fenotípica e de ambiente entre os dois caracteres (X e Y), recomendando as análises individuais e a soma dos valores de X e Y, de tal forma que os produtos médios (covariância), associados a cada fonte de variação, (Cruz, 2006).

Estimados por meio de:

$$Cov(X,Y) = \frac{V(X+Y) - V(X) - V(Y)}{2}$$

As covariâncias são dadas por:

a) Covariância Fenotípica:

$$C\hat{o}V_F(X,Y) = \frac{PMG(X,Y)}{r}$$

b) Covariância Genotípica:

$$C\hat{o}V_G(X,Y) = \hat{\Phi}_g(X,Y) = \frac{PMG(X,Y) - PMR(X,Y)}{r}$$

c) Covariância de Ambiente:

$$CoV_A(X,Y) = PMR(X,Y)$$

Através determinar a esperança de produto médio das fontes de variação, através da fórmula:

$$PMg(X,Y) = \frac{QMg(X+Y) - QMg(X) - QMg(Y)}{2}$$

e

$$PMr(X,Y) = \frac{QMr(X+Y) - QMr(X) - QMr(Y)}{2}$$

Correlação Fenotípica:

$$r_F = \frac{PMG_{XY}}{\sqrt{QMR_X \cdot QMR_Y}}$$

Correlação Genotípica:

$$r_A = \frac{PMR_{XY}}{\sqrt{QMR_X \cdot QMR_Y}}$$

Correlação de Ambiente:

$$r_G = \frac{(PMG_{XY} - PMR_{XY})/r}{\sqrt{\hat{\Phi}_{g_X} \cdot \hat{\Phi}_{g_Y}}} = \frac{\hat{\Phi}_{g_{(X,Y)}}}{\sqrt{\hat{\Phi}_{g_X} \cdot \hat{\Phi}_{g_Y}}}$$

Foi empregado o método de Estimadores de Correlação Simples, realizado pelo teste t para determinação da significância na correlação fenotípica e o método de *bootstrap* com 5000 simulações nas correlações genotípica e ambiental.

Para classificação da magnitude das correlações, adotou-se a classificação proposta por Shimakura e Ribeiro Junior (2012), de acordo com a magnitude das correlações, dividindo nas seguintes classes: 0,0 a 0,19 – muito fraca; de 0,20 a 0,39 – fraca; de 0,40 a 0,69 – moderada; de 0,70 a 0,89 – forte; e de 0,90 a 1,00 – muito forte.

3.6.6.1. Teste de Multicolinearidade

O grau de multicolinearidade da matriz $X'X$ foi estabelecido com base no seu número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz (Montgomery e Peck, 1981). Se o $NC < 100$, a multicolinearidade foi tida como fraca e não constituiu problema sério na análise. Se $100 \leq NC < 1000$, a multicolinearidade foi considerada de moderada a forte, e $NC \geq 1000$ foi indicativo de multicolinearidade severa.

3.6.6.2. Análise de trilha

Através da análise de trilha foi possível determinar os efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre a variável básica peso de matéria seca, cujas estimativas são obtidas por meio de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas.

A padronização de uma variável é obtida dividindo-se o desvio de cada observação em relação à média pelo desvio-padrão da amostra:

$$u_i = \frac{X - \bar{X}}{\hat{\sigma}_x}$$

As seguintes propriedades são verificadas, em relação às variáveis padronizadas:

a) Uma variável padronizada tem média igual à zero e variância igual a 1, ou seja:

$$\bar{u} = \frac{\sum u_i}{n} = 0, \text{ pois } \sum u_i = 0$$

e

$$\hat{\sigma}_u^2 = 1 \Rightarrow \sum u_i^2 = (n-1)$$

b) A covariância entre duas variáveis padronizadas é igual à correlação entre estas variáveis (padronizadas ou não), ou seja:

$$\text{Se } v_i = \frac{Y - \bar{Y}}{\hat{\sigma}_y}$$

$$\hat{Cov}(u, v) = r_{uv} = r_{xy} \Rightarrow \sum u_i v_i = (n-1)r_{xy}$$

c) O coeficiente de regressão linear entre duas variáveis padronizadas é dado por:

$$\hat{b} = \hat{Cov}(u, v) = r_{uv} = r_{xy}$$

Assim, o coeficiente de regressão linear de u em função de v é idêntico ao de v em função de u. O coeficiente de regressão padronizado mantém a seguinte relação com o coeficiente de regressão entre variáveis originais:

$$\hat{b}_{v(u)} = \hat{b}_{oy(x)} \cdot \frac{\hat{\sigma}_x}{\hat{\sigma}_y}$$

Estimação dos coeficientes de trilha – efeito direto e indireto:

Onde será considerada uma variável básica Y e três variáveis explicativas (X₁, X₂ e X₃), dado pelo modelo:

$$Y - \bar{Y} = b_{o1}(X_1 - \bar{X}_1) + b_{o2}(X_2 - \bar{X}_2) + b_{o3}(X_3 - \bar{X}_3) + \varepsilon$$

De maneira análoga, tem-se:

$$\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_y} = b_{o1} \frac{\sigma_{x1}}{\sigma_y} \frac{X_1 - \bar{X}_1}{\sigma_{x1}} + b_{o2} \frac{\sigma_{x2}}{\sigma_y} \frac{X_2 - \bar{X}_2}{\sigma_{x2}} + b_{o3} \frac{\sigma_{x3}}{\sigma_y} \frac{X_3 - \bar{X}_3}{\sigma_{x3}} + \frac{\sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \frac{\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}$$

da qual se obtém:

$$Y = \rho_{o1}x_1 + \rho_{o2}x_2 + \rho_{o3}x_3 + \rho_\varepsilon u$$

em que:

$$Y = (Y - \bar{Y}) / \sigma_y ;$$

$$X_i = (X_i - \bar{X}_i) / \sigma_{xi} ;$$

$$u = \varepsilon / \sigma_\varepsilon$$

$$p_\varepsilon = \sigma_\varepsilon / \sigma_y$$

$$p_{oi} = (b_{oi} \sigma_{xi} / \sigma_y)$$

Neste modelo é verificado que:

$$V_{(y)} = V(x_i) = V(u) = 1$$

$$C\hat{o}v(y, x_i) = r_{oi}$$

$$C\hat{o}v(y, x_i) = r_{ij}$$

$$C\hat{o}v(y, x_i) = 0$$

Tendo a seguinte relação:

$$\hat{V}(y) = \hat{p}_{01}^2 + \hat{p}_{02}^2 + 2\hat{p}_{01}\hat{p}_{03}r_{13} + 2\hat{p}_{02}\hat{p}_{03}r_{23} + \hat{p}_\varepsilon^2$$

Estimando o coeficiente de determinação do modelo causal ($R^2_{0.123}$), medindo o efeito das três variáveis explicativas (x_1 , x_2 e x_3) sobre y , ou seja:

$$\hat{R}_{0.123} = \hat{p}_{01}^2 + \hat{p}_{02}^2 + \dots + 2\hat{p}_{02}\hat{p}_{03}r_{23}$$

Também estima-se o efeito da variável residual sobre a variável principal, dado por:

$$\hat{p}_\varepsilon = \sqrt{1 - R_{0.123}^2}$$

Decomposição da correlação r_{oi} em efeitos diretos de x_i sobre a variável básica, expressa por ρ_{oi} , e os efeitos indiretos de x_i via x_j , expresso por $\hat{p}_{oi} r_{ij}$

$$\hat{Cov}(y, x_1) = r_{01} = \hat{p}_{02} \hat{p}_{02} r_{12} + \hat{p}_{03} r_{13}$$

$$\hat{Cov}(y, x_2) = r_{02} = \hat{p}_{01} \hat{p}_{12} + \hat{p}_{02} + \hat{p}_{03} r_{23}$$

$$\hat{Cov}(y, x_3) = r_{03} = \hat{p}_{01} r_{13} + \hat{p}_{02} r_{23} + \hat{p}_{03}$$

Onde, a estimação dos efeitos diretos e indiretos é obtida pela solução do sistema da equação descrito por:

$$r_{01} = r_{12} r_{13} \hat{p}_{01}$$

$$r_{02} = r_{21} r_{23} = \hat{p}_{02}$$

$$r_{03} = r_{31} r_{32} = \hat{p}_{03}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise de variância univariada

Na Tabela 2, encontram-se os quadrados médios para efeitos blocos, genótipos e resíduo, provenientes da análise de variância do delineamento em blocos casualizados para dez características avaliadas. As características FLOR, CZ, VL, LI e CF foram transformados em \sqrt{x} , as demais características avaliadas não necessitaram de transformação.

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,01$) pelo teste F para as variáveis: FLOR, NC, AP, NF, PMV, CZ, VL, LI, CF, indicando que tais variáveis são importantes na identificação da diversidade genética entre os genótipos de sorgo biomassa e apenas a característica PMS apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste F.

Os coeficientes de variação experimental tiveram amplitude entre 0,58 para FLOR e 19,35% para PMS. De acordo com a classificação proposta por Pimentel Gomes (2009) os coeficientes de variação das variáveis: FLOR, NC, AP, NF, CZ, VL, LI e CF são considerados baixos e para as variáveis PMV e PMS são considerados médios.

Estes resultados demonstraram que houve pouca influência das variações experimentais não controláveis e corroboram com os resultados encontrados em outros estudos da cultura do sorgo (Dutra Filho et al., 2011; Rabelo et al., 2014; Fiorini, 2014; Perazzo et al., 2014; Menezes et al., 2014; Silva et al., 2016).

Na Tabela 3, estão apresentadas as médias das características agrônômicas avaliadas nos diferentes genótipos, agrupados pelo teste Scott e Knott a 5% de probabilidade, onde as características estudadas apresentaram amplitude de: FLOR de 110 a 135 dias; NC de 17,53 a 20,86; AP de 4,51 a 5,56 m; NF de 17,33 a 22,46; PMV de 50,86 a 94,50 t ha⁻¹, PMS variou de 22,83 a 48,71 t ha⁻¹; CZ de 2,25 a 6,84%; VL de 77,14 a 86,22%; LI de 16 a 23,35% e CF de 9,29 a 19,64%. A variável FLOR formou oito grupos de médias, sendo os genótipos mais precoces com florescimento inferior a 120 dias foram: 201429B028, 201429B024, 201429B025 e 201429B021.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância dos caracteres agronômicos e físico-químicos relativo à avaliação de 34 genótipos de sorgo biomassa em Cáceres – Mato Grosso, na safra 2014/15

FV	GL	Quadrados Médios ^{1/}									
		FLOR	NC	AP	NF	PMV	PMS	CZ	VL	LI	CF
Bloco	2	0,0093	4,8450	0,6514	49,3425	1001,9532	22,0453	0,0123	0,0025	0,0226	0,0072
Genótipo	33	0,2460**	3,0981**	0,1789**	3,3816**	242,2658*	99,8055**	0,1687**	0,0360**	0,1072**	0,2177**
Resíduo	66	0,0041	0,7342	0,0443	0,7237	134,5534	40,3622	0,0046	0,0074	0,0171	0,0501
Média		11,18	19,37	5,05	19,30	72,01	32,83	2,16	9,03	4,40	3,69
C.V(%)		0,58	4,42	4,16	4,41	16,11	19,35	3,16	0,95	2,97	6,08

^{1/}FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; NF: número médio de folhas; PMV = peso de massa verde; PMS = peso de massa seca; CZ: teor de cinzas; VL: teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

** e * significativos 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Esses resultados diferem aos encontrados por Parrella (2010), avaliando 33 genótipos de sorgo biomassa em duas localidades (Sete Lagoas e Nova-Porteirinha), obteve florescimento superior aos 120 dias para todos os genótipos avaliados. Tal comportamento pode estar relacionado as diferenças ambientais encontradas entre Cáceres e Minas Gerais.

Já os genótipos de sorgo biomassa que apresentaram as maiores médias de FLOR foram 201429B001, 201429B005, 201429B008 e 201429B015 com médias superiores aos 130 dias, confirmando a sensibilidade ao fotoperíodo, já que o plantio foi realizado em dezembro sob dias longos e o florescimento ocorreu em abril quando os dias apresentaram fotoperíodo crítico. Silva et al. (2016), avaliando os mesmos genótipos de sorgo biomassa em Sinop – MT, observaram que esses genótipos fizeram parte do grupo de médias de menor precocidade.

Na maioria das culturas a precocidade é uma característica desejada por melhoristas e produtores devido à cultura permanecer menos tempo exposta no campo a doenças, pragas e intempéries (Lacerda et al., 2013). Para o sorgo biomassa esta característica não é interessante, pois a planta sorgo permanece vegetativa até o florescimento, a partir desse momento não ocorrerá o ganho de massa verde, dessa forma quanto maior a precocidade menor será consequentemente a produção de matéria verde e seca.

Ao avaliarmos a característica NC os 34 genótipos de biomassa foram alocados em dois grupos com 17 genótipos cada, sendo que o primeiro grupo apresentou médias superiores a 20,05 e o segundo grupo médias de 18,5. Os resultados obtidos no trabalho foram superiores aos encontrados por Silva et al. (2011), que avaliando a divergência genética de cana-de-açúcar através de dez características agrônômicas obteve médias de número de colmos de 9,13. Segundo Perazzo et al. (2014), o caráter número de colmos representa a população de sorgo por unidade de área e pode estar associado à produção de massa seca.

A média dos genótipos para AP foi de 5,05 m, onde os genótipos 201429B028, 201429B017, 201429B006, 201429B010, 201429B024, 201429B009, 201429B003, 201429B004, 201429B007, 201429B019 e 201429B011 foram os que apresentaram as menores médias, ocorrendo a formação de dois grupos distintos. Os valores médios para altura de plantas foram superiores aos obtidos por Pereira et al. (2012), avaliando o desempenho de 23 genótipos de sorgo biomassa obtiveram

média de 4,11 m, variando de 3,47 a 4,93 m. Já Nagaiah et al. (2012), avaliando seis linhagens de sorgo biomassa obtiveram médias para altura de plantas de 5,35 m, variando de 3,9 a 6,2 m.

Quanto a característica NF os genótipos foram alocados em três grupos distintos, onde os genótipos 201429B030 e 201429B012 obtiveram as maiores médias, com 22,45 e 21,63, respectivamente. O número de folhas é uma característica importante por se correlacionar positivamente com as características de produção de matéria verde e matéria seca (Wight et al., 2012).

Para a característica PMV houve a formação de dois grupos de médias, o primeiro grupo alocou 24 genótipos com média de produção de matéria verde de 73,5 t ha⁻¹, já o segundo grupo alocou 10 genótipos com média de 60,47 t ha⁻¹. Essa diferença de mais de 10 toneladas está relacionada ao fato de que esses genótipos também apresentarem menores médias para as características número de folhas, número de colmos e florescimento. Castro (2014), avaliando 13 genótipos de sorgo biomassa em três localidades de Minas Gerais (Lavras, Sete Lagoas e Uberlândia), encontraram médias de produção de matéria verde de 91,61, 42,02 e 13,67 t ha⁻¹, respectivamente. O autor destaca ainda que a diferença na produção nas três localidades pode estar relacionada a interação genótipo ambiente observada no estudo.

Quanto à característica PMS os genótipos que obtiveram as maiores médias foram 201429B030, 201429B020, BRS716, 201429B006, 201429B012, 201429B015, 201429B009, 201429B018, 201429B013, 201429B005, 201429B001, 201429B032 e 201429B031 com produção superior a 35 t ha⁻¹ de matéria seca. Os valores encontrados neste estudo foram superiores ao obtidos por Silva et al. (2016) trabalhando com sorgo biomassa obtiveram médias de 24,03 t ha⁻¹ de matéria seca e inferiores aos obtidos por Parrella (2010) avaliando 49 genótipos de sorgo biomassa em Sete Lagoas e Nova Porteirinha obtiveram médias de 27,27 e 47,90 t ha⁻¹, respectivamente para o peso de matéria seca. Quanto a característica CZ os genótipos foram alocados em seis grupos, sendo que os genótipos 201429B016 e 201429B019 apresentaram as melhores médias com 2,38 e 2,25 % de cinzas, já os genótipos 201429B026 e 201429B006 apresentaram médias superiores a 6%.

Tabela 3 - Valores médios para dez características avaliadas em 34 genótipos de sorgo biomassa em Cáceres – Mato Grosso, na safra 2014/15.

GENÓTIPOS	Médias ^{1/} das características ^{2/} avaliadas									
	FLOR	NC	AP	NF	PMV	PMS	CZ	VL	LI	CF
201429B001	135,33 a	19,80 a	5,34 a	20,06 b	77,33 a	35,06 a	3,51 f	82,66 b	17,60 c	13,82 a
201429B002	123,00 d	17,7 b	5,06 a	18,73 c	70,23 a	32,27 b	3,68 f	82,05 b	21,60 a	14,26 a
201429B003	121,33 e	17,93 b	4,76 b	18,73 c	71,73 a	30,80 b	4,46 d	79,81 c	19,24 b	15,71 a
201429B004	121,00 e	17,70 b	4,74 b	18,56 c	72,80 a	31,00 b	5,03 c	80,44 c	17,53 c	14,52 a
201429B005	134,66 a	19,90 a	5,05 a	19,53 b	76,46 a	36,75 a	4,33 d	81,75 b	20,94 a	13,91 a
201429B006	131,33 b	20,50 a	4,95 b	20,73 b	80,73 a	38,18 a	6,26 a	77,14 c	22,45 a	16,59 a
201429B007	120,00 e	17,53 b	4,67 b	18,66 c	57,09 b	27,44 b	5,40 b	81,98 b	19,53 b	12,61 b
201429B008	133,66 a	19,10 b	5,01 a	19,50 c	75,56 a	32,18 b	4,25 e	82,81 b	16,00 c	12,93 a
201429B009	122,00 e	18,63 b	4,78 b	18,96 c	78,30 a	37,64 a	5,29 b	80,37 c	20,76 a	14,33 a
201429B010	123,00 d	18,66 b	4,87 b	18,73 c	64,03 b	30,08 b	5,65 b	82,51 b	19,93 b	11,83 b
201429B011	120,66 e	18,43 b	4,51 b	18,13 c	50,86 b	22,83 b	4,74 c	80,04 c	20,68 a	15,21 a
201429B012	128,66 c	20,80 a	5,04 a	21,63 a	76,46 a	38,05 a	4,17 e	80,50 c	16,50 c	15,32 a
201429B013	132,66 b	20,40 a	5,06 a	20,30 b	75,83 a	36,89 a	3,50 f	86,22 a	18,44 b	10,26 b
201429B014	125,00 d	18,16 b	4,99 a	19,06 c	63,36 b	30,51 b	4,80 c	81,59 b	19,55 b	13,60 a
201429B015	133,66 a	20,06 a	5,26 a	20,73 b	75,66 a	37,67 a	4,21 e	81,97 b	19,16 b	13,98 a
201429B016	124,66 d	20,30 a	5,04 a	19,16 c	74,06 a	32,78 b	2,38 g	81,60 b	17,42 c	16,01 a
201429B017	127,00 c	19,30 b	4,95 b	19,83 b	67,33 b	28,66 b	5,00 c	82,83 b	18,99 b	12,16 b
201429B018	125,00 d	20,00 a	5,05 a	19,76 b	80,01 a	37,49 a	4,98 c	81,97 c	19,32 b	13,03 a
201429B019	120,33 e	17,80 b	4,52 b	19,13 c	73,60 a	33,13 b	2,25 g	80,10 c	18,83 b	17,64 a
201429B020	127,33 c	19,96 a	5,31 a	19,60 b	81,40 a	43,92 a	5,62 b	79,97 c	17,18 c	14,40 a
201429B021	116,00 f	19,93 a	5,04 a	17,33 c	78,06 a	31,52 b	5,48 b	79,64 c	22,42 a	14,86 a
201429B022	126,33 c	20,06 a	5,56 a	19,33 c	78,13 a	32,17 b	4,01 e	85,36 a	18,77 b	10,62 b
201429B023	124,33 d	20,06 a	5,21 a	19,16 c	61,53 b	27,41 b	5,59 b	82,41 b	18,75 b	11,99 b
201429B024	113,00 g	18,80 b	4,86 b	18,63 c	68,96 a	32,07 b	5,17 c	80,44 c	19,74 b	14,38 a
201429B025	115,00 f	18,86 b	5,14 a	19,30 c	57,09 b	25,88 b	4,92 c	81,27 b	18,88 b	13,80 a
201429B026	127,33 c	20,00 a	5,13 a	18,80 c	77,33 a	32,31 b	6,84 a	81,43 b	17,50 c	11,72 b
201429B027	120,33 e	18,70 b	5,18 a	17,66 c	62,13 b	23,61 b	4,42 d	80,09 c	19,66 b	15,48 a
201429B028	110,00 h	18,56 b	4,95 b	18,30 c	57,63 b	24,39 b	4,76 c	84,92 a	23,35 a	10,31 b
201429B029	123,00 d	20,26 a	5,10 a	17,96 c	62,03 b	23,83 b	5,64 b	81,16 b	21,68 a	13,18 a
201429B030	124,33 d	20,86 a	5,32 a	22,46 a	94,50 a	48,71 a	3,73 f	81,07 b	19,25 b	15,19 a
201429B031	131,33 b	20,86 a	5,45 a	19,96 b	74,10 a	34,69 a	4,55 d	80,71 c	19,33 b	14,74 a
201429B032	132,33 b	19,16 b	5,26 a	18,90 c	81,50 a	35,01 a	4,46 d	86,14 a	19,67 b	9,29 b
201429B033	128,33 c	18,90 b	5,34 a	18,50 c	72,06 a	30,37 b	5,85 b	78,50 c	18,92 b	15,64 a
BRS 716	131,00 b	20,56 a	5,18 a	19,80 b	80,02 a	40,69 a	4,92 c	83,39 a	19,26 b	11,68 b

^{1/} Médias seguidas da mesma letra na coluna, são iguais entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

^{2/} FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; NF: número médio de folhas; PMV = peso de massa verde; PMS = peso de massa seca; CZ: teor de cinzas; VL: teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

Estes valores foram inferiores aos encontrados por Miranda (2011), trabalhando com a caracterização de bagaço de sorgo sacarino encontrou valores de 9,5% para o teor de cinzas. Elevados teores de CZ levam a uma diminuição da eficiência devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas, interferindo no poder calorífico e causando perdas de energia (Hoffmann, 2010).

Para a característica VL foi observado a formação de três grupos de médias, onde os genótipos 201429B013, 201429B032, 201429B022, 201429B028 e BRS716 apresentaram as maiores médias, com valores superiores a 83%. Paula et al. (2011), trabalhando com a caracterização de resíduos de biomassa, encontraram teores médios de voláteis de 82,31% para bagaço de cana, 78,89% para serragem de madeira, 81,68% para palha de milho e de 66,36% para casca de arroz. Brito e Barrichelo (1978), caracterizando oito genótipos de Eucaliptus quando ao seu poder combustível encontrou médias para teor de voláteis que variaram de 74,1 a 89,9%. Segundo Smith (1976) o teor de voláteis é uma característica importante na caracterização de biomassa para geração de energia, pois determina a facilidade de queima de um combustível.

Quanto ao teor de LI as médias foram agrupadas em três grupos distintos, variando de 16,00 a 23,25%. As maiores médias, superiores a 20% foram observadas para os genótipos 201429B028, 201429B006, 201429B021, 201429B029, 201429B002, 201429B005, 201429B009 e 201429B011, indicando que esses genótipos possuem elevado poder calorífico. A lignina insolúvel é uma característica importante, pois influencia no poder calorífico e no potencial energético de um material, dessa forma maiores valores são requeridos. Os valores obtidos de LI foram superiores aos obtidos por Kelley et al. (2004), realizando a determinação de lignina em bagaço-de-cana encontram valores médios de 18,6%. Marabuzzi (2009), realizando estudos de determinação dos teores de lignina em amostras em madeira de Eucaliptus, encontraram valores que variaram de 25,56 a 29,84%.

A característica CF alocou os 34 genótipos em dois grupos distintos, sendo que o primeiro grupo foi constituído por 24 genótipos, sendo eles; 201420B001, 201420B002, 201420B003, 201420B004, 201420B005, 201420B006, 201420B008, 201420B009, 201420B011, 201420B012, 201420B014, 201420B015, 201420B016, 201420B018, 201420B019, 201420B020, 201420B021, 201420B024, 201420B025

201420B027, 201420B029, 201420B030, 201420B031 e 201420B033, apresentaram médias superiores a 14% para carbono fixo, já o segundo grupo formado por 10 genótipos (201420B017, 201420B023, 201420B010, 201420B026, BRS716, 201420B022, 201420B028, 201420B013 e 201420B032) com médias que variaram de 9,29% a 11,99%. O teor de carbono fixo encontrado neste estudo foi inferior ao obtido por Soares et al. (2014) que avaliou dois genótipos de Eucaliptus em três idades distintas (3, 5 e 7 anos) e encontrou valores de 78,39; 80,29 e 76,85, respectivamente. Paula et al. (2011), obtiveram valores de carbono fixo de 17,16 para bagaço de cana; 17,30 para casca de arroz; 21,03 para serragem de madeira e de 17,05 para palha de milho.

Esses resultados demonstram que o sorgo biomassa é uma alternativa viável para cogeração de energia, e que algumas características como teor de cinzas, voláteis, lignina e carbono fixo são passíveis de serem melhoradas a fim de aumentar a eficiência energética dessa biomassa.

4.2. Parâmetros Genéticos

As estimativas dos parâmetros genéticos importantes na inferência sobre as estratégias de seleção são apresentadas na Tabela 4. As características FLOR, NC, AP, NF, CZ, VL, LI, e CF apresentaram os maiores coeficientes de determinação genotípica (H^2), com valores de 98,6%, 76,30%, 75,26%, 78,60%, 97,25%, 79,40%, 84,07% e 76,98%, respectivamente; e magnitudes superiores a 1,0 para o índice de seleção (lv); além de possuírem maiores valores de variância fenotípica ($\hat{\sigma}_F^2$) e genotípica ($\hat{\Phi}_g$) em relação à variância ambiental ($\hat{\sigma}_e^2$). Tal fato caracteriza situação favorável ao melhoramento desses genótipos, pois pode-se trabalhar a seleção no sentido de reduzir a porcentagem de cinzas e voláteis, ou ainda promover a seleção a favor de maior número de colmos, altura de plantas, número de folhas, lignina insolúvel e carbono fixo.

Os maiores índices de variação foram encontrados para FLOR (4,41) e CZ (3,44), indicando serem favoráveis no processo de seleção e que a variação genética é a maior responsável pelos valores de coeficiente de variação estimados dos dados experimentais. Tabosa et al. (2012), caracterizando genótipos e

estimando os parâmetros genéticos de sorgo forrageiro no semiárido, também encontraram maiores índices de variação para a floração (2,76).

As características PMV e PMS apresentaram-se insatisfatória em relação a ganhos em gerações futuras de seleção, pois apresentam magnitude de H^2 abaixo de 70%, aliados a baixos índices de variação e a variância ambiental superior a genotípica e fenotípica. A baixa estimativa de herdabilidade, possivelmente está relacionada a maior influência ambiental, que pode ser verificada com os coeficientes de variação experimental (Tabela 3) corroborando com outros trabalhos (Banziger et al. 1997; Brancourt-Hulmel et al., 2005; Rodrigues, 2010; Furtini et al. 2014)

Tabela 4 - Estimativas das variâncias fenotípica ($\hat{\sigma}_F^2$) e de ambiente ($\hat{\sigma}_e^2$), da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_g$), do coeficiente de determinação genotípica (H^2) e do índice de variação (Iv) para dez características avaliadas em 34 genótipos de sorgo biomassa cultivados em Cáceres-Mato Grosso, na safra 2014/15

Características ^{1/}	$\hat{\sigma}_F^2$	$\hat{\sigma}_e^2$	$\hat{\Phi}_g$	H^2	Iv
FLOR	2,54	0,004	0,08	98,60	4,41
NC	4,58	0,73	0,78	76,30	1,04
AP	4,19	0,04	0,04	75,26	1,01
NF	4,88	0,72	0,88	78,60	1,11
PMV	8,32	134,55	35,90	44,46	0,52
PMS	13,56	40,36	19,81	59,56	0,70
CZ	10,85	0,004	0,05	97,25	3,44
VL	1,08	0,007	0,01	79,40	1,13
LI	3,94	0,017	0,03	84,07	1,13
CF	6,41	0,005	0,05	76,98	1,06

^{1/} FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; PMV = peso de massa verde; PMS = peso de massa seca; CZ: teor de cinzas; VL: teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

Resultados semelhantes foram observados por Cunha et al. (2009), que avaliando a herdabilidade e correlações entre caracteres produtivos de cultivares de sorgo forrageiro obtiveram valores de H^2 de baixa magnitude para as características produção de matéria verde (45,44) e matéria seca (58,23).

4.3. Análise multivariada

4.3.1. Distância generalizada de *Mahalanobis*

As medidas de dissimilaridade genética, estimadas a partir da Distância Generalizada de *Mahalanobis* ($D_{ii'}^2$), em relação às dez características avaliadas, estão apresentadas na Tabela 5. Segundo Machado (1999), esta técnica é a mais eficiente e utilizada na identificação da diversidade, e pela análise desta tabela, podemos verificar que a combinação entre 201429B001 e 201429B028 ($D_{ii'}^2 = 394,98$) foi a mais divergente, seguida pela combinação 201429B019 e 201429B026 ($D_{ii'}^2 = 343,50$), indicando a presença de ampla variabilidade genética para os genótipos avaliados. Já a menor magnitude de distância, foi observada entre os pares 201429B015 e 201429B031 ($D_{ii'}^2 = 6,21$), bem como entre 201429B005 e 201429B015 ($D_{ii'}^2 = 6,38$).

Valores elevados de dissimilaridade foram encontrados para as combinações entre 201429B006 e 201429B019 (339,85), 201429B008 e 201429B028 (339,16) 201429B001 201429B024 (333,56), 201429B005 e 201429B028 (327,29), 201429B013 e 201429B028 (326,27), 201429B015 e 201429B028 (325,85) e entre 201429B001 e 201429B021 (300,65). Menores dissimilaridades também foram observadas entre as combinações 201429B014 e 201429B018 (7,0), 201429B003 e 201429B004 (7,68), 201429B008 e 201429B010 (8,42) 201429B007 e 201429B009 (8,84) e 201429B010 e 201429B023 (9,31). A relação entre o maior e o menor valor observado de $D_{ii'}^2$ foi da ordem de 63, caracterizando, assim, a existência de divergência entre alguns genótipos estudados, possibilitando a oportunidade de ganho heterótico e manifestação de genótipos superiores em gerações segregantes (Paixão et al., 2008).

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2015), avaliando a divergência genética entre 25 genótipos de sorgo sacarino encontraram maior dissimilaridade entre a combinação CMSXS644 e 20102705

Tabela 5 - Medidas de dissimilaridade entre os 34 genótipos de sorgo, em relação a dez características, com base na Distância Generalizada de

Mahalanobis (D_{ii}^2), Cáceres – Mato Grosso, 2014/15

Genótipos ^{1/}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,00	103,57	145,14	170,23	25,18	139,32	191,01	17,88	174,00	150,26	185,59	45,71	13,38	88,37	13,97	103,22	70,89
2		0,00	22,47	45,76	84,66	141,53	49,75	94,22	41,01	53,19	36,41	66,75	85,08	23,88	80,91	77,99	50,01
3			0,00	7,68	114,09	115,48	17,90	102,22	14,88	29,05	12,12	60,96	122,93	20,68	109,22	106,44	38,76
4				0,00	62,90	121,84	10,32	107,92	13,83	22,10	19,09	73,95	148,50	24,93	127,55	152,33	42,58
5					0,00	62,90	134,27	27,47	109,64	90,56	129,17	47,39	29,53	54,46	6,38	153,21	41,11
6						0,00	107,81	105,80	84,20	67,35	115,78	87,75	136,61	70,51	74,82	268,45	50,64
7							0,00	128,63	8,84	8,42	12,60	91,76	158,40	21,57	132,97	190,18	40,20
8								0,00	120,92	95,26	137,14	31,10	24,74	55,87	18,20	126,07	37,25
9									0,00	10,85	11,94	81,94	147,87	19,99	114,78	178,76	39,69
10										0,00	23,34	73,80	122,65	12,30	93,13	193,65	20,29
11											0,00	86,50	150,35	29,31	133,14	147,00	48,38
12												0,00	40,69	39,86	28,84	84,56	26,85
13													0,00	74,63	21,15	84,11	52,99
14														0,00	50,23	130,07	10,95
15															0,00	130,97	37,24
16																0,00	131,68
17																	0,00
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	

Continua...

Tabela 5, Cont...

Genótipos ^{1/}	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	98,31	220,94	97,48	300,65	46,76	112,29	333,56	245,01	157,54	156,26	394,98	157,79	91,75	28,26	31,50	98,56	45,88
2	33,54	94,51	73,52	83,44	32,62	60,84	92,92	59,35	133,23	20,52	112,56	59,46	35,14	67,59	75,84	82,14	68,48
3	22,24	102,73	54,33	47,44	56,94	42,75	46,89	29,80	87,97	10,16	91,51	43,39	44,51	86,99	103,16	62,82	79,87
4	24,71	149,98	46,49	49,71	72,98	38,68	42,77	28,95	65,64	20,92	97,57	44,82	69,27	103,06	114,11	59,04	85,77
5	56,87	257,57	62,73	220,75	51,67	69,61	272,29	205,36	97,96	129,21	327,29	88,09	87,38	11,69	21,24	56,51	14,34
6	64,46	339,85	53,84	167,10	124,43	57,24	223,19	182,52	48,38	139,50	298,72	64,95	130,17	58,20	92,63	33,83	53,20
7	24,00	189,04	48,50	41,05	80,14	28,04	38,76	24,45	58,51	26,31	75,22	28,53	84,24	106,16	114,57	58,08	81,98
8	61,44	226,70	56,68	241,31	41,72	69,47	265,27	192,80	88,34	123,08	339,16	113,26	90,21	26,66	22,19	59,40	27,24
9	14,65	183,59	40,86	31,19	76,74	30,99	44,74	36,15	58,56	25,81	88,42	20,57	67,02	87,89	106,16	50,29	67,31
10	11,78	223,16	26,36	55,34	60,42	9,31	71,76	47,43	29,02	35,80	111,72	12,54	82,06	68,30	74,88	30,04	45,08
11	26,59	141,90	70,98	29,54	79,66	41,96	35,81	25,78	91,19	16,68	64,88	26,71	68,67	104,24	126,34	77,71	90,25
12	34,89	154,38	43,16	174,09	37,70	49,45	177,66	117,22	91,54	79,23	248,49	87,75	26,95	26,52	59,61	60,55	35,60
13	78,47	188,12	95,28	258,57	31,13	91,44	286,70	208,55	145,25	133,80	326,27	131,15	76,80	32,74	22,79	103,34	37,16
14	7,00	169,37	19,62	82,54	29,25	13,25	95,10	55,56	49,33	27,13	138,72	26,34	46,16	35,61	46,28	24,74	26,97
15	54,96	237,14	52,99	230,49	38,94	64,46	265,60	189,56	99,73	121,97	325,85	98,42	67,80	6,21	22,25	54,85	14,94
16	133,73	35,91	182,50	230,93	75,01	171,65	227,79	173,15	274,65	106,17	260,07	197,17	65,44	128,12	143,08	200,88	155,63
17	11,98	190,39	23,20	113,07	27,61	10,00	133,11	84,86	35,26	50,67	181,76	31,88	55,36	25,73	31,50	21,96	17,50
18	0,00	177,90	19,09	68,30	33,11	11,43	85,79	53,48	42,89	30,07	132,59	18,22	38,85	36,31	54,55	30,55	24,30
19		0,00	246,72	207,59	148,01	229,83	180,23	156,23	343,50	112,29	205,06	240,31	99,88	228,90	242,49	268,25	249,44
20			0,00	116,96	53,33	17,03	133,93	91,07	25,49	64,95	208,33	45,06	68,95	35,41	57,61	12,69	24,47
21				0,00	140,27	83,58	19,73	34,52	125,60	37,20	39,41	44,34	125,84	179,19	206,40	122,00	159,47
22					0,00	39,61	159,21	98,30	96,64	48,93	186,45	64,59	42,85	28,71	26,31	60,41	31,94
23						0,00	103,47	61,17	22,75	42,48	147,57	15,95	70,80	40,18	54,79	19,11	28,06
24							0,00	13,29	158,37	42,60	23,58	83,08	121,10	218,76	249,51	158,12	197,41
25								0,00	122,98	20,41	36,79	59,64	76,85	150,71	182,18	112,12	140,64
26									0,00	101,34	231,51	42,52	143,22	74,29	80,12	19,64	49,47
27										0,00	70,43	37,18	52,78	90,01	110,13	69,95	89,57
28											0,00	112,58	166,68	275,50	289,41	228,76	250,48
29												0,00	90,86	64,63	83,98	38,21	50,08
30													0,00	58,08	99,37	96,90	69,60
31														0,00	24,20	34,18	9,54
32															0,00	51,31	16,28
33																0,00	30,16
34																	0,00

^{1/} (1) 201429B001, (2) 201429B002, (3) 201429B003, (4) 201429B004, (5) 201429B005, (6) 201429B006, (7) 201429B007, (8) 201429B008, (9) 201429B009, (10) 201429B010, (11) 201429B011, (12) 201429B012, (13) 201429B013, (14) 201429B014, (15) 201429B015, (16) 201429B016, (17) 201429B017, (18) 201429B018, (19) 201429B019, (20) 201429B020, (21) 201429B021, (22) 201429B022, (23) 201429B023, (24) 201429B024, (25) 201429B025, (26) 201429B026, (27) 201429B027, (28) 201429B028, (29) 201429B029, (30) 201429B030, (31) 201429B031, (32) 201429B032, (33) 201429B033 e (34) BRS716.

($D_{ii'}^2 = 249,82$) e menor entre os pares CMSXS630 e CMSXS643 ($D_{ii'}^2 = 2,37$), bem como entre BR505 e V82392 ($D_{ii'}^2 = 4,09$).

Dentre as distâncias apresentadas para cada genótipo, em relação aos demais neste estudo, os genótipos 201429B001 e 201429B028, destacou-se como os mais dissimilares, estando envolvidos nas maiores distâncias registradas. Esses resultados corroboram aos obtidos por Silva (2006) avaliando a divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar, observaram que as maiores distâncias generalizadas de *Mahalanobis* ocorreu entre genótipos que apresentavam alta relação de parentesco, sendo eles RB94503 e RB931011 (39,90) e RB961 e RB931011 (34,80).

4.4. Análise de agrupamento pelo método de Tocher e UPGMA

A utilização do método de Otimização de Tocher, fundamentado na dissimilaridade expressa pelas distâncias de *Mahalanobis*, possibilitou a distribuição dos 34 genótipos em oito grupos distintos (Tabela 6), onde a divergência genética dentro de cada grupo é restrita.

O grupo I englobou oito genótipos, correspondendo 23,52% do total analisado, apresentando menor dissimilaridade genética de 6,21 entre os genótipos 201429B015 e 201429B031 e maior dissimilaridade entre 201429B001 e BRS716 (45,88).

O grupo II foi a constituição mais numerosa, reunindo 35,29% dos genótipos de sorgo biomassa, sendo a maior dissimilaridade neste grupo representado entre os genótipos 201429B017 e 201429B027 (50,67), já o menos dissimilar neste grupo foi 201429B004 e 201429B003 (7,68). No grupo III a maior dissimilaridade foi observada entre os genótipos 201429B020 e 201429B026 (25,49) e a menor entre 201429B020 e 201429B023 (17,03), sendo este grupo formado por três genótipos, representando 8,82%. O grupo IV alocou quatro genótipos (11,75%) apresentando similaridade entre as combinações 201429B024 e 201429B025 (13,25) e dissimilaridade entre 201429B021 e 201429B028 (39,41). O grupo V, VI e VII foram formados por dois genótipos cada (5,85%), sendo os genótipos 201429B012 e 201429B030 (26,95), 201429B002 e 201429B022 (32,62) e 201429B016 e

201429B019 (35,91) respectivamente, evidenciando uma base genética ampla, caracterizando assim um bom grau de divergência. O grupo VIII foi representado apenas pelo genótipo 201429B006 demonstrando ser o mais distante em relação aos demais genótipos, apresentando comportamento satisfatório em relação a produção de matéria verde e seca, teor de voláteis, teor de lignina e carbono fixo.

Resultados semelhantes ao deste trabalho foram encontrados por Oliveira et al. (2015), avaliando 25 genótipos de sorgo sacarino em Cáceres-MT obteve a formação de oito grupos distintos, onde o primeiro e o segundo grupo reuniram 68% dos genótipos avaliados. Simon et al. (2012), avaliando a divergência genética em milho de primeira e segunda safra, obtiveram a individualização dos 19 genótipos em sete grupos pelo método de Tocher em ambas as safras.

Tabela 6 - Representação do agrupamento gerado pelo método de Otimização de Tocher, com base na dissimilaridade dos 34 genótipos de sorgo biomassa cultivados em Cáceres – Mato Grosso, na safra 2014/15

GRUPOS	GENÓTIPOS	% DE GENÓTIPOS
I	201429B015, 201429B031, 201429B005, BRS716, 201429B032, 201429B008, 201429B001 e 201429B013	23,52
II	201429B014, 201429B018, 201429B017, 201429B023, 201429B010, 201429B029, 201429B009, 201429B007, 201429B011, 201429B004, 201429B003 e 201429B027	35,29
III	201429B020, 201429B033 e 201429B026	8,82
IV	201429B025, 201429B024, 201429B021 e 201429B028	11,76
V	201429B012 e 201429B030	5,85
VI	201429B002 e 201429B022	5,85
VII	201429B016 e 201429B019	5,85
VIII	201429B006	2,94
TOTAL	34	100

A partir do método de Otimização de Tocher foi estimada a dissimilaridade intra e intergrupos (Tabela 7). Os resultados observados indicam que a maior distância intragrupo foi observada no grupo VII ($d_{III} = 35,91$), enquanto que a menor distância intragrupo foi verificada no grupo III ($d_{III} = 19,27$). Em todos os casos a distância intragrupo foi inferior a qualquer distância intergrupos, atendendo ao

critério estabelecido para o método de Otimização de Tocher, de que os genótipos dentro de cada grupo são mais próximos geneticamente (Cruz e Carneiro, 2003).

As maiores distâncias intergrupos foram obtidas entre os grupos VII e VIII ($d_{III} = 304,15$), III e VII ($d_{III} = 252,75$), I e IV ($d_{III} = 247,80$), IV e VIII ($d_{III} = 217,88$) e IV e VII ($d_{III} = 205,13$). Os grupos IV e VII apresentaram de modo geral, os maiores valores de distância em relação aos demais. O alto valor de distância intergrupo é um indicativo das melhores combinações para cruzamento. Assim, espera-se que, em razão da divergência genética, seja possível maior recombinação e obtenção de maior efeito heterótico, numa tentativa de obtenção de genótipos com melhores características energéticas.

Tabela 7 - Distâncias médias intra e intergrupos estimada pelo método de Tocher com base na dissimilaridade entre 34 genótipos de sorgo biomassa cultivados em Cáceres – Mato Grosso, na safra 2014/15

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	21,93	94,91	73,48	247,80	59,78	59,84	179,73	90,43
II		23,55	47,33	69,74	64,89	48,62	164,55	88,31
III			19,27	150,81	84,05	83,21	252,75	45,35
IV				27,89	150,99	116,56	205,13	217,88
V					26,94	45,61	101,06	108,96
VI						32,62	98,88	132,98
VII							35,91	304,15
VIII								-

Trugilho et al. (1997), caracterizando nove genótipos de Eucaliptus quanto à qualidade da madeira através de técnicas multivariadas, observaram maiores distâncias médias intergrupos entre VI e IX (167,00), V e IX (136,29), V e VIII (133,19), II e IX (125,18), V e VII (124,43) e entre os grupos III e V (120,74). Os autores relatam que a partir dessas informações é possível indicar os genótipos pertencentes a estes grupos em trabalhos de futuras hibridações.

Menores distâncias médias intergrupo foram obtidos entre os grupos III e VIII ($d_{III} = 45,35$), V e VI ($d_{III} = 45,61$) e II e III ($d_{III} = 47,33$). Tal comportamento indica que

o inter cruzamento entre tais genótipos não acarretara em ganhos de seleção em gerações futuras. Caixeta et al. (2003), estudando as propriedades de madeira na seleção de genótipos de Eucaliptus observaram que as menores distâncias médias intragrupos foram obtidas entre I e X (3,63), II e VIII (3,65) e IV e VIII (3,68).

Com base no método de agrupamento de ligação média entre os grupos (UPGMA) submetido a um corte significativo de 54% de distância genética, possibilitou divisão dos 34 genótipos de sorgo biomassa em cinco grupos distintos (Figura 3).

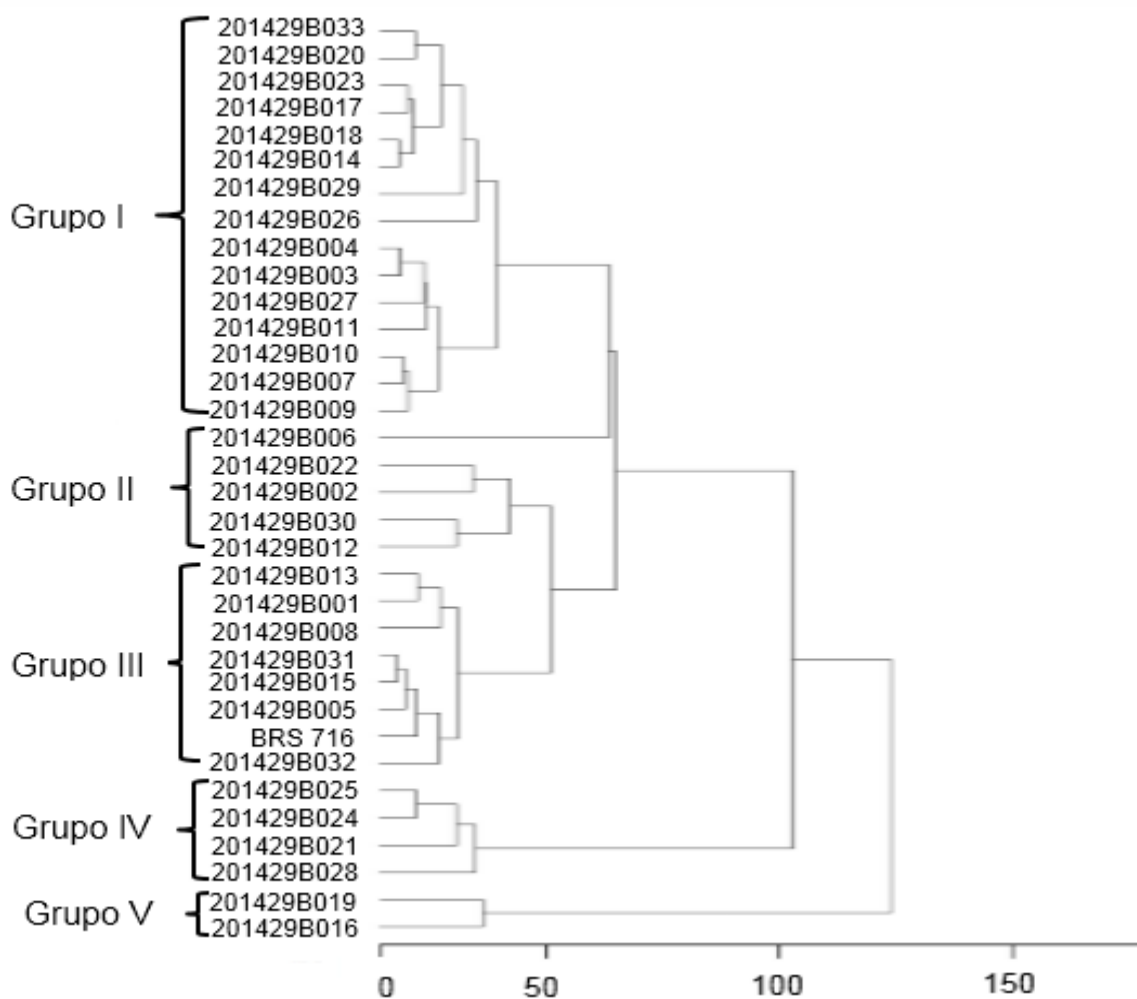


Figura 3 - Dendrograma representativo do agrupamento de 34 genótipos de sorgo biomassa, pelo Método UPGMA, com base na dissimilaridade estimada a partir de dez características. Cáceres - Mato Grosso, 2014/15.

Dentre os grupos formados pelo dendrograma, o grupo I foi o mais numeroso sendo constituído por 15 genótipos sendo eles 201429B033,

201429B020, 201429B023, 201429B017, 201429B018, 201429B014, 201429B029, 201429B026, 201429B004, 201429B003, 201429B027, 201429B011, 201429B007, 201429B010 e 201429B009 por apresentarem menor número de folhas. O grupo II é formado pelos genótipos 201429B006, 20429B022, 201429B002, 201429B030 e 201429B012 por apresentarem maior produção de matéria verde.

O grupo III formado por oito genótipos (201429B013, 201429B001, 201429B008, 201429B031, 201429B015, 201429B005, BRS716 e 201429B032) por apresentar maiores dias para florescimento. O grupo IV foi formado por quatro genótipos, sendo eles 201429B025, 201429B024, 201429B021 e 201429B028 por apresentar em menor produção de matéria seca. O grupo V foi formado por dois genótipos, sendo 201429B019 e 201420B016, por apresentarem baixo teor de cinzas.

Ambos os métodos demonstraram semelhança no agrupamento dos genótipos, no entanto, a composição do UPGMA foi um pouco diferente do método de Tocher. A diferença nos agrupamentos formados pelos dois métodos é que os genótipos do grupo II e III formado pelo método Tocher passou a incorporar o grupo I do método de UPGMA e o grupo V, VI e VII do Tocher se reuniu no grupo II do UPGMA. Os demais grupos formados apresentam semelhança na forma de agrupamento dos genótipos.

Resultados semelhantes foram observados por Simon et al. (2012), avaliando a divergência genética em 19 genótipos simples de milho, observaram semelhança nos métodos de agrupamento de Tocher e UPGMA quanto a forma que alocaram os genótipos. Os autores ressaltam que a semelhança na forma de agrupamento confere maior segurança em discriminar os diferentes genótipos avaliados à divergência genética. Silva et al. (2011), estudando a divergência genética em cana-de-açúcar, observaram que ambos os métodos de agrupamento agruparam de forma similar os 18 genótipos de cana-de-açúcar quanto à dissimilaridade.

O coeficiente de correlação cofenética (CCC), aplicado ao método de agrupamento pelo teste t, apresentou valores significativos para o método de agrupamento médio entre grupos (UPGMA), com ($r=0,69$) e significativo ($P\leq 0,01$) com ajuste satisfatório, evidenciando consistência dos agrupamentos entre a matriz de dissimilaridade e o dendrograma gerado pelo UPGMA.

4.5. Variáveis Canônicas

As estimativas dos autovalores (λ_i) correspondentes as Variáveis Canônicas (VCi), as variâncias percentuais e acumuladas e os coeficientes de ponderação (Autovetores) associados as variáveis originais são apresentados na Tabela 8.

Dentre as dez variáveis canônicas as duas primeiras foram suficientes para explicar mais de 80% da variação total e esse fato possibilita estudar a divergência genética dos 34 genótipos num espaço bidimensional facilitando a interpretação geométrica. As duas primeiras variáveis canônicas explicaram cerca de 81,78% da variação, sendo 53,01% para a primeira e 28,76 % para a segunda, as quais foram utilizadas para indicar os caracteres de maior importância. A viabilidade da utilização da técnica das variáveis canônicas está restrita à concentração da variabilidade disponível entre as primeiras variáveis, a qual é referenciada por Cruz et al. (2004) como acima de 80%.

Resultados semelhantes foram observados por Carvalho et al. (2016), avaliando o incremento do potencial fisiológico em 19 genótipos de milho quando submetidos a diferentes tratamentos de semente, observaram que pela análise de variáveis canônicas foi possível determinar que 90% da variação total foi explicada com base nas duas primeiras variáveis.

Turgilho et al. (1997), avaliando a qualidade da madeira de nove espécies de Eucaliptus visando identificar genótipos superiores, observaram que as três primeiras variáveis explicaram 86,56% da variação total, sendo 42,19% para a primeira, 30,19% para a segunda e 14,18% para a terceira.

No gráfico de dispersão dos genótipos, elaborado com base nas duas primeiras variáveis canônicas dispostas no espaço bidimensional (Figura 4), observou-se a formação de oito grupos distintos. O grupo I formado pelos genótipos: 34, 31, 32, 5, 15, 8, 13 e 1 (BRS716, 201429B031, 201429B032, 201429B005, 201429B015, 201429B008, 201429B013 e 201429B001 respectivamente), o grupo II foi formado por 12 genótipos, sendo 27, 3, 11, 4, 7, 9, 18, 14, 17, 23, 29 e 10 (201429B027, 201429B003, 201429B011, 201429B004, 201429B007, 201429B009, 201429B018, 201429B014, 201429B017, 201429B023, 201429B029 e 201429B010 respectivamente).

Tabela 8 - Estimativas dos autovalores (λ_i) correspondentes às percentagens de variação, explicada pelas variáveis canônicas (VC_i), e coeficiente de ponderação (autovetores) de dez características, avaliadas em 34 genótipos de sorgo biomassa. Cáceres - Mato Grosso, 2014/15

VC_i	Autovalores		Autovetores associados ^{1/}									
	λ_i	Acum. (%)	FLOR	NC	AP	NF	PMV	PMS	CZ	VL	LI	CF
VC_1	53,01	53,01	15,76	0,08	1,47	0,16	-0,03	0,001	-5,74	-13,45	-1,11	-5,98
VC_2	28,76	81,78	3,59	-0,03	-0,03	-0,06	-0,02	0,02	18,59	17,73	1,36	6,64
VC_3	4,93	86,72	0,77	0,12	1,63	-0,55	-0,02	0,009	4,26	32,13	3,73	9,07
VC_4	4,05	90,77	1,08	0,57	-0,81	0,15	-0,01	0,16	-0,47	1,43	6,63	2,56
VC_5	2,98	93,75	-3,27	0,33	2,43	0,71	-0,06	0,71	6,09	25,77	-1,10	9,90
VC_6	2,03	95,79	0,98	-0,68	-1,03	0,27	-0,02	0,10	13,00	58,09	1,32	22,60
CV_7	1,81	97,61	0,27	-0,55	3,93	-0,51	0,002	0,66	2,10	9,41	0,28	5,82
CV_8	1,10	98,71	-0,12	0,75	-2,58	-0,53	0,07	-0,05	11,89	54,94	-0,97	21,67
CV_9	0,89	99,61	-0,95	-0,16	0,19	-0,23	0,01	0,11	-6,35	-28,95	0,11	-12,55
CV_{10}	0,38	100,0	0,29	0,21	0,11	-0,55	-0,12	0,21	-3,64	-14,43	-0,54	-5,63

^{1/}FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; PMV = peso de massa verde e PMS = peso de massa seca, CZ = teor de cinzas; VL = teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

O grupo III foi constituído pelos genótipos: 26, 20 e 33 (201429B026, 201429B020 e 201429B033), o grupo IV formado por 28, 24, 21 e 25 (201429B028, 201429B024, 201429B021 e 201429B025). O grupo V, VI e VII foi formado por dois genótipos, sendo eles, 201429B030 e 201429B012, 201429B002 e 201429B022, 201429B016 e 201429B019, respectivamente. O grupo VIII alocou um único genótipo (201429B006).

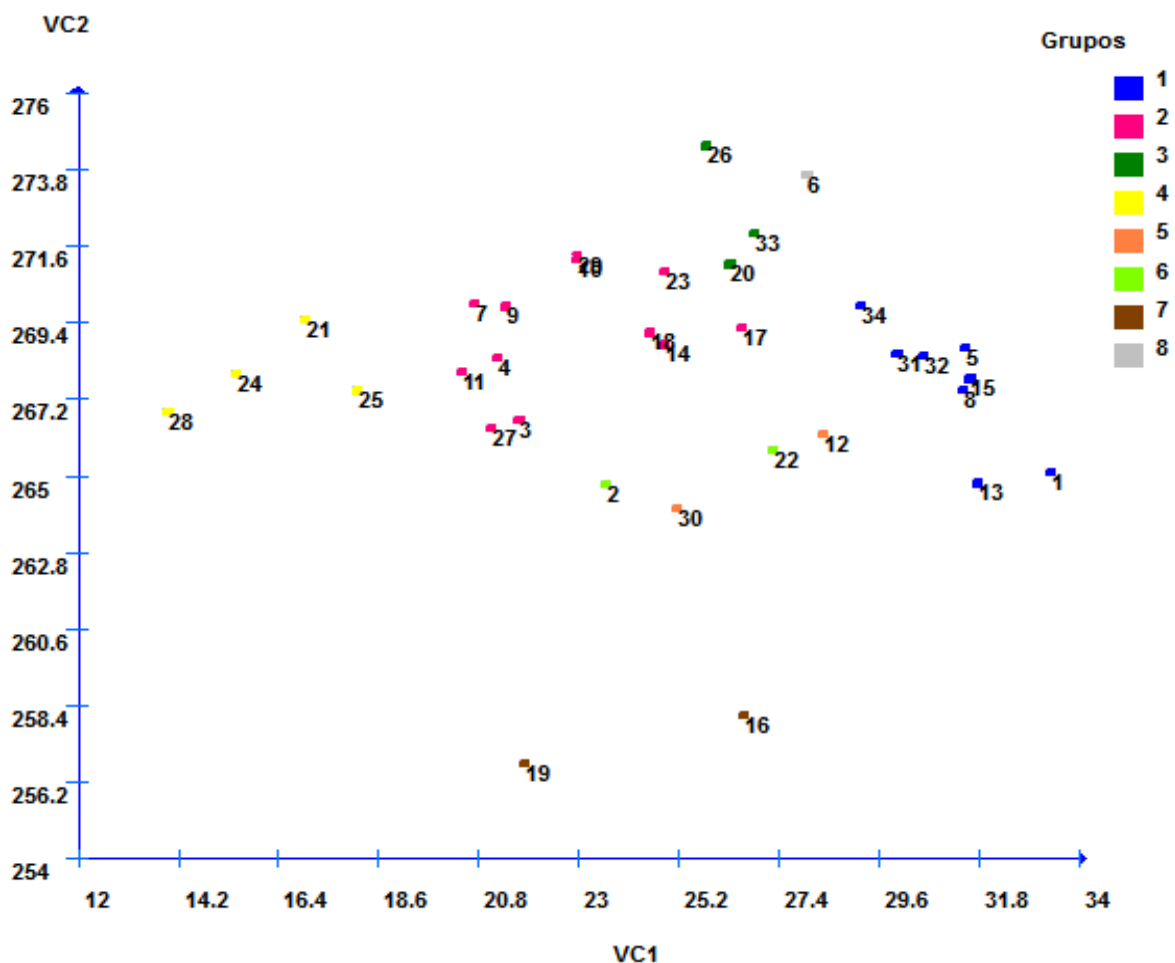


Figura 4 - Projeção gráfica 2D dos 34 genótipos de sorgo biomassa, a partir de dez características. Cáceres - Mato Grosso, 2014/15.

(1) 201429B001, (2) 201429B002, (3) 201429B003, (4) 201429B004, (5) 201429B005, (6) 201429B006, (7) 201429B007, (8) 201429B008, (9) 201429B009, (10) 201429B010, (11) 201429B011, (12) 201429B012, (13) 201429B013, (14) 201429B014, (15) 201429B015, (16) 201429B016, (17) 201429B017, (18) 201429B018, (19) 201429B019, (20) 201429B020, (21) 201429B021, (22) 201429B022, (23) 201429B023, (24) 201429B024, (25) 201429B025, (26) 201429B026, (27) 201429B027, (28) 201429B028, (29) 201429B029, (30) 201429B030, (31) 201429B031, (32) 201429B032, (33) 201429B033 e (34) BRS716.

Em relação à formação de grupos, observa-se concordância com os agrupamentos obtidos anteriormente, sendo semelhante ao obtido pelo método hierárquico UPGMA (Figura 3), e distribuição dos grupos de forma igual ao método de Tocher (Tabela 6) não apenas quanto ao número de grupos estabelecidos, mas, também, quanto aos genótipos constituintes dos grupos, portanto, confiáveis na identificação de progenitores com alta divergência, no sentido de orientar cruzamentos promissores.

O coeficiente de correlação cofenética do gráfico ($r=0,96$) mostrou um ótimo ajuste entre a representação gráfica das distâncias e a sua matriz original o que evidencia elevada confiabilidade na realização de inferências por meio da avaliação visual da Figura 4.

Estes resultados se assemelham aos encontrados por Bertan et al. (2006), realizando a comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo, encontraram concordância nos métodos de agrupamento UPGMA e na representação gráfica, com valores de correlação cofenética do gráfico de 0,95.

4.6 Importância relativa dos caracteres

Em relação a contribuição relativa de cada característica para a expressão da diversidade genética o método de Singh (1981) indicou que as variáveis FLOR (44,80%) e CZ (33,42%) foram os que mais contribuíram para a divergência genética total entre 34 genótipos de sorgo biomassa (Tabela 9).

Estes resultados evidenciam a importância do florescimento e teor de cinzas na distinção dos genótipos, indicando que essas variáveis não devem ser descartadas de futuras avaliações para caracterização do sorgo biomassa para fins energéticos.

Rocha (2015), estudando a divergência genética entre acessos de capim-elefante visando avaliar a aptidão para produção de bioenergia, observou que o florescimento foi a característica de maior contribuição para divergência total, com 17,88%, já Trugilho et al. (1997), avaliando a qualidade da madeira como critério de seleção de genótipos superiores de Eucaliptus, observaram que a característica teor

de cinzas (24,98%) apresentou maior contribuição relativa na divergência entre os genótipos avaliados.

Tabela 9 - Contribuição relativa percentual de dez caracteres avaliados para a divergência ($D_{ii'}^2$) entre 34 genótipos de sorgo biomassa cultivados em Cáceres – Mato Grosso na safra 2014/15

Caracteres avaliados ^{1/}	S.j	Contribuição (%)
FLOR	25103.16	44,80
CZ	18727.24	33,24
LI	2689.80	4,80
AP	2183.19	3,89
CF	2041.53	3,64
NF	1819.00	3,24
NC	1316.35	2,34
VL	933.71	1,66
PMS	635.88	1,13
PMV	579.49	1,03

^{1/} FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; PMV = peso de massa verde; PMS = peso de massa seca; CZ: teor de cinzas; VL: teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

Quanto às características VL (1,66), PMS (1,13) e PMV (1,03) apresentaram as menores contribuições para a divergência genética dos 34 genótipos de sorgo biomassa. A menor contribuição relativa de matéria verde e seca é discordante dos resultados de Rocha et al. (2014), que, avaliando a importância de caracteres morfoagronômicos na determinação da divergência genética para usos energéticos em capim-elefante, observaram grande contribuição destas características para a diversidade total dos 94 acessos.

4.7 Correlação genética

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_E) entre as dez características avaliadas no estudo da divergência genética em 34 genótipos de sorgo biomassa, apresentaram valores mínimos de -0,88, -0,85 e -0,97 e máximos de 0,89, 1,0 e 0,80 respectivamente, para a maioria dos caracteres apresentando diferença quanto ao sinal, na significância e na magnitude (Tabela 10).

Do total das 45 correlações fenotípicas, apenas 33,33% foram significativas pelo teste t, independente da significância estatística (1 ou 5%) onde, 42,22% foram consideradas como muito fracas; 26,66% fracas; 24,44% moderadas e apenas 6,66% como fortes. Na porcentagem acumulada das correlações, apenas 31% enquadraram-se entre moderada e forte.

Dentre as 45 correlações genotípicas formadas, 37,77% foram significativas a 1 ou 5% de significância pelo método de *Bootstrap*, onde, 4,44% foram consideradas muito fortes; 11,11% fortes e 24,44% moderadas; 28,88 fracas e 31,11% como muito fracas. Pode-se notar que na maioria dos pares de características as correlações genotípicas foram maiores que as fenotípicas e de ambiente demonstrando assim uma maior contribuição dos fatores genéticos na expressão desses caracteres, em relação aos ambientais. Essa superioridade é relatada por Gonçalves et al. (1996) como sendo resultante dos efeitos modificadores do ambiente na associação dos caracteres genéticos e demonstra que o componente ambiente teve menor influência do que o genético na expressão dos caracteres.

Ainda pela Tabela 10, verifica-se que em 40% das associações houve diferença de sinais entre correlações genotípicas e de ambiente, indicando moderada influência do ambiente na expressão dos caracteres. Segundo Falconer (1987), as diferenças de sinais observadas entre as correlações genotípicas e de ambiente, indicam que as causas de variação genética de ambiente influenciaram os caracteres através de mecanismos fisiológicos diferentes, o que foi evidenciado no presente trabalho em relação as correlações entre FLOR com AP, NF e LI, NF e CF, PMV e VL, PMV e CF e PMS e CF. Isso significa que mudanças nas condições de ambiente produzem efeitos contrários destes com as demais características.

Resultados semelhantes foram observados por Silva (2006), avaliando a divergência genética em 12 genótipos de cana-de-açúcar através de quatro características, observaram diferenças de sinais entre as correlações genotípicas e de ambiente para os caracteres tonelada de cana por hectare (TCH) com porcentagem de sacarose na cana (POL), açúcares redutores (AR) e FIBRA.

Tabela 10 - Estimativas de coeficientes de correlação fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_E) entre dez características avaliadas em genótipos de sorgo biomassa em Cáceres – Mato Grosso, na safra 2014/15

Características ^{1/}	R	NC	AP	NF	PMV	PMS	CZ	VL	LI	CF
FLOR	r_F	0,52**	0,46**	0,55**	0,53**	0,53**	-0,10	0,18	-0,40*	-0,14
	r_G	0,60**	0,54**	0,62**	0,76**	0,65**	-0,10	0,20	-0,44**	-0,16
	r_E	0,03	-0,04	0,10	0,26+	0,24+	-0,03	-0,06	-0,01	0,06
NC	r_F		0,64**	0,57**	0,53**	0,52**	0,02	0,07	-0,15	-0,10
	r_G		0,72**	0,68**	0,70+	0,60+	0,01	0,08	-0,16	-0,11
	r_E		0,39*	0,21+	0,33*	0,35*	0,15	-0,13	-0,13	-0,07
AP	r_F			0,31+	0,42*	0,33+	0,03	0,27+	-0,19	-0,28
	r_G			0,36+	0,47+	0,41	0,02	0,32	-0,24	-0,34
	r_E			0,15	0,40*	0,18	0,15	0,06	0,01	-0,08
NF	r_F				0,59**	0,75**	-0,26	0,05	-0,34*	0,06
	r_G				0,74**	0,90**	-0,30	0,01	-0,45**	0,15
	r_E				0,44**	0,46**	0,12	0,12	0,11	-0,25+
PMV	r_F					0,89**	-0,17	-0,00	-0,25	0,07
	r_G					1,00**	-0,29	-0,13	-0,46	0,29
	r_E					0,80**	0,10	0,22+	0,10	-0,25+
PMS	r_F						-0,16	-0,02	-0,25	0,10
	r_G						-0,22	-0,11	-0,36	0,25
	r_E						0,04	0,18	0,22	-0,20+
CZ	r_F							-0,27	0,24	-0,20
	r_G							-0,30	0,27	-0,23
	r_E							-0,07	-0,03	-0,11
VL	r_F								-0,10	-0,88**
	r_G								-0,14	-0,85**
	r_E								0,07	-0,97**
LI	r_F									-0,02
	r_G									-0,001
	r_E									-0,09

^{1/} FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; PMV = peso de massa verde; PMS = peso de massa seca; CZ: teor de cinzas; VL: teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

** *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t. ++ +: significativo a 1% e 5% de probabilidade – respectivamente – pelo método de bootstrap com 5000 simulações.

As maiores correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais de mesmo sinal e significância foram observadas entre os caracteres NF e PMS (0,75); PMV e PMS (0,89) e VL e CF (-0,88), o que sugere confiabilidade em se utilizarem as correlações fenotípicas para interpretação dos dados (Rios et al., 2012).

O caracter FLOR apresentou correlação forte com PMV (0,79) e moderada com NC, AP, NF, PMS e LI. Essa correlação possivelmente, se deve a sensibilidade dos genótipos ao fotoperíodo, que proporciona um aumento do ciclo vegetativo, fazendo com que haja um incremento dos demais caracteres, com exceção de LI que apresentou correlação negativa (-0,44), tal comportamento pode estar relacionado ao fato de que a medida que avança o estágio de maturação maior será a quantidade de lignina armazenada, assim os genótipos de sorgo biomassa que tiveram florescimento mais precoce tiveram maior tempo de maturação em campo.

O caracter NC apresentou correlação forte com AP (0,72) e PMV (0,70) e moderada para NF (0,68) e PMS (0,60), indicando que o aumento no número de colmos não implicara necessariamente em aumentos no número de folhas e produção de matéria seca. Para a característica AP a correlação com PMV (0,47) foi classificada como moderada, e, para NF (0,36) foram classificadas como fracas. Resultados semelhantes foram encontrados por Borges et al. (2011), estudando a associação entre caracteres na seleção de progênies de meios-irmãos de *Brachiara ruziziensis*, observou correlação entre moderada entre altura de plantas e peso de matéria verde (0,49) e fraca para peso de folhas (0,36).

Para NF a correlação com PMV (0,74) foi classificada como forte e muito forte para PMS (0,90), já para LI (-0,45) a correlação foi moderada e negativa. Essa correlação negativa se deve provavelmente, em função de que maiores teores de lignina insolúvel são encontrados no colmo, se comparado as folhas de gramíneas e forrageiras (Paciullo et al., 2001).

A característica PMV apresentou correlação muito forte com PMS (1,00), demonstrando o quanto essas características estão interligadas. Perazzo et al. (2014), avaliando caracteres agronômicos de 32 cultivares de sorgo no semiárido brasileiro, também observaram correlações positivas e significativas entre PMV e PMS (0,87). Castro (2014), estudando o potencial energético de sorgo biomassa, relataram que entre os 45 pares de correlações avaliados o PMV e PMS (0,93) apresentaram as maiores magnitudes.

A característica VL apresentou correlação negativa com CF (-0,85), sendo classificada como forte, indicando que menores teores de voláteis implicará em maiores teores de carbono fixo. Em um programa de melhoramento de sorgo para geração de energia esse acréscimo no CF é importante, pois segundo Brand (2010), combustíveis com altos teores de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis tendem a se queimar mais lentamente, ou seja, eles poderão requerer longo tempo de residência na fornalha para a queima total, quando comparados com combustíveis que possuam baixo índice de carbono fixo.

4.8. Análise de trilha

As estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis independentes explicativas FLOR, DC, NC, NF, AP, PMV, CZ, LI, VL e CF sobre o peso de matéria seca, encontram-se na Tabela 11. O coeficiente de determinação (R^2) da análise de trilha foi equivalente a 90,60%, indicando que a produção de massa seca pode ser explicada pelos efeitos dos caracteres analisados e o efeito residual de 30,64% reflete a contribuição das variáveis do modelo para a variável básica. Assim, o modelo explicativo adotado expressou a relação causa e efeito entre as variáveis primárias e o peso de matéria seca.

O PMV apresentou a mais alta correlação com PMS (0,8970) e o efeito direto alto (0,7717) e efeitos indiretos baixos, assim genótipos com maior peso de matéria seca podem ser obtidos a partir da seleção de plantas com maior produção de matéria verde. O NF apresentou correlação de 0,7552 e elevada magnitude (0,3792), demonstrando a existência de uma forte associação entre esse caracter e a variável básica. Ambas as características PMV e NF obtiveram altos valores de correlação genotípica com a variável básica PMS ($r_G = 1,00$ e $r_G = 0,74$) e os efeitos indiretos de ambas também foram elevadas, assim essas duas variáveis podem favorecer o ganho em PMS em um processo de seleção simultânea. Çarpici et al. (2010), trabalhando com milho forragem também encontraram correlação positiva e significativa entre folhas verdes e produção de matéria seca. Borges et al. (2011), avaliando a associação entre caracteres e análise de trilha na seleção de progênies de meios-irmãos de *Brachiaria ruziziensis*, encontraram alta correlação entre PMV e a variável básica PMS.

O caracter FLOR está correlacionado favoravelmente com peso de matéria seca (0,5195) e seu efeito direto é negativo (-0,0119), o número de colmos apresentou correlação alta (0,5209) com peso de matéria seca, porém seu efeito direto é negativo (-0,0180), a altura de plantas também apresentou correlação expressiva (0,3327) e efeito direto negativo (-0,1067). Isso indica que tais correlações foi causada por efeitos indiretos, e que os caracteres PMV e NF foram os que apresentaram maior contribuição via indireta. De acordo com Lorentz et al. (2006), quando o coeficiente de correlação é positivo, mas o efeito direto é negativo ou desprezível, a correlação será causada pelos efeitos indiretos, sendo estes observados na análise.

Resultados semelhantes foram encontrados por Entringer et al. (2014), trabalhando com componentes de produção de milho superdoce determinaram que apenas duas das oito variáveis estudadas apresentaram efeito direto sobre a variável básica, as demais ocorreram por efeito indireto. Farias et al. (2015), estudando as características agrônômicas e tecnológicas em algodão, observou correlações altas e positivas, com efeito direto negativo, sendo influenciadas pelos efeitos indiretos.

As características CZ e VL apresentaram alto efeito direto (0,7095 e 1,2571), entretanto as correlações foram baixas e negativas (-0,1672 e -0,0274), o que indica a dificuldade desses caracteres em proporcionar ganhos satisfatório na qualidade de matéria seca, por apresentarem efeitos indiretos negativos. O CF apresentou baixa correlação (0,1084) e efeito direto alto (1,3343), demonstrando que este caractere pode ser utilizado na obtenção de biomassa com melhor qualidade energética.

Quanto a característica LI foi observada correlação baixa e negativa (-0,2558) e efeito direto positivo (0,0347) sobre a variável básica, indicando não haver ganhos na variável básica através da seleção desta característica. Silveira et al. (2015), realizando estudos sobre a seleção de famílias de cana-de-açúcar para alta produção de biomassa, observaram que a altos teores de lignina não conduzem a ganhos em produção de biomassa se um cultivar não exibir alto valor médio de produção por hectare, ou seja, maior produção de lignina ocorre quando um genótipo apresenta alta produção de biomassa e não pelo valor de lignina apresentado pelo mesmo. Dessa forma a seleção de genótipos com alta produção de biomassa, implicará de forma indireta na obtenção de maiores teores de lignina.

Tabela 11 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos de dez características sobre a variável principal produção de matéria seca, em 34 genótipos de sorgo biomassa cultivados em Cáceres – Mato Grosso, na safra 2014/15

Descrição dos Efeitos		Estimativas das variáveis ^{1/}								
		FLOR	NC	AP	NF	PMV	CZ	VL	LI	CF
Efeito direto	PMS	-0,0119	-0,0180	-0,1067	0,3792	0,7717	0,7095	1,2571	0,0347	1,3343
Efeito indireto	Via FLOR	-	-0,0062	-0,0055	-0,0066	-0,0063	0,0012	-0,0021	0,0048	0,0016
	Via NC	-0,0094	-	-0,0116	-0,0104	-0,0096	-0,0005	-0,0013	0,0027	0,0018
	Via AP	-0,0498	-0,0688	-	-0,0339	-0,0454	-0,0039	-0,0288	0,0207	0,0303
	Via NF	0,2121	0,2192	0,1204	-	0,2250	-0,0994	0,0221	-0,1310	0,0251
	Via PMV	0,4101	0,4130	0,3289	0,4579	-	-0,1373	-0,0032	-0,1980	0,0593
	Via Cinzas	-0,0074	0,2029	0,2611	-0,1869	-0,1263	-	-0,1924	-0,1773	-0,1483
	Via Voláteis	0,2459	0,1054	0,3667	0,0793	-0,0057	-0,3680	-	-0,1393	-1,1952
	Via LI	-0,0139	-0,0053	-0,0067	-0,0120	-0,0089	0,0086	-0,0035	-	-0,0007
	Via CF	-0,1892	-0,1383	-0,3789	0,8846	0,1026	-0,2790	-1,1751	-0,0277	-
Efeito Total		0,5195	0,5209	0,3327	0,7552	0,8970	-0,1692	-0,0274	-0,2558	0,1084
Determinação ($R^2_{0,123}$)	0,9060									
Efeito residual ($\rho \cdot \epsilon$)	0,3064									

^{1/}FLOR = número de dias para o florescimento; NC = número médio de colmos; AP = altura média de plantas; PMV = peso de massa verde e PMS = peso de massa seca, CZ: teor de cinzas; VL: teor de voláteis; LI = lignina insolúvel e CF = carbono fixo.

De modo geral, pode-se inferir que as características estudadas diferiram em seu grau de influência direta sobre a produção de matéria seca. Entre eles, o PMV e NF são eficientes no aumento da produção de massa seca, o que indica a presença de causa e efeito. Neste caso, a melhor estratégia seria a seleção simultânea de caracteres, enfatizando-se as características cujos efeitos diretos são maiores. Os caracteres AP, FLOR e NC podem ser considerados secundários na influência sobre o PMS, porém, a presença de efeitos diretos negativos indica a dificuldade que se tem em selecionar apenas com base no comportamento dos efeitos indiretos.

Através da correlação e análise de trilha, verificou-se que a seleção baseada no aumento da produção de matéria verde acarretará em genótipos com maior produção de matéria seca e maior teor de lignina e conseqüentemente levará a um aumento no potencial agroenergético.

5. CONCLUSÕES

Existe variabilidade genética entre os genótipos de sorgo biomassa para as características agronômicas e físico-químicas avaliadas.

Os genótipos 201429B006, 201429B009, 201429B018, 201429B020, 201429B030, 201429B032 e BRS716 se destacaram por apresentar desempenho agrônômico satisfatório para produção de matéria verde e seca aliados a um razoável desempenho energético.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR- 8112: **Carvão vegetal – Análise Imediata**. 1983. 8p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR- 13999: **Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C**. 2003. 4p.
- ALMEIDA FILHO, J. E. **Avaliação agrônômica e de estabilidade e adaptabilidade de genótipos de sorgo granífero**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2012. 95p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**. 4:772-780, 2009.
- ALVES, G. H. O.; SANTOS, L. A.; MENDES, M. R.; MENEZES, R. K. O.; BARBOZA, A. S. R.; SOUZA, J. E. A.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P. Avaliação do potencial energético do capim-elefante (*pennisetum purpureumschum.*). In: 52º Congresso Brasileiro de Química, Recife, 2012. **Anais...** Recife: CBQ, 2012, p.1-3.
- AMARAL JÚNIOR, A.T. do; THIÉBAUT, J.T. de L. **Análise multivariada na avaliação da diversidade em recursos genéticos vegetais**. Campos dos Goytacazes - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, CCTA, 1999. 55p.
- AMARAL JÚNIOR, A. T. **Análise dialética de betacaroteno, vitamina c, sólido solúveis e produção e variabilidade em cultivares de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) via marcadores RAPD**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 198p. (Tese-Doutorado em Genética e Melhoramento).
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013. 237p.
- BANZIGER, M.; BETRÁN, F. J.; LAFITTE, H. R. Efficiency of High-Nitrogen Selection Environments for Improving Maize for Low-Nitrogen Target Environments. **Crop Science**. 37:1103-1109, 1997.

BEN - **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 10 junho, 2016.

BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; HARTWIG, I.; SILVA, J. A. G.; SHIMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; BUSATO, C. C.; RIBEIRO, G. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. **R. Bras. Agrociência**. 12:279-286, 2006.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. 969p.

BORGES, L. S.; AQUINO, F. C.; EVANGELISTA, A. F. Potencial do capim elefante para geração de bioenergia – revisão. **Revista Eletrônica**. 13:4518-4523, 2016.

BORGES, V.; SOBRINHO, F. S.; LÉDO, F. J. S.; KOPP, M. M. Associação entre caracteres e análise de trilha na seleção de progênies de meios-irmãos de *Brachiaria ruziziensis*. **Rev. Ceres**. 58:765-772, 2011.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S.C.S.; MOREIRA DA SILVA, J.R. - Seleção de clones de Eucalyptus para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Sci. For**. 38:237-245, 2010.

BRANCOURT-HULMEL, M.; Heumez, E.; PLUCHARD, P.; BEGHIN, D.; DEPATUREAUX, C.; GIRAUD, A.; LE GOUIS, J. Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. **Crop Science**. 45:1427-1431, 2005.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. J. **Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca**. IFEP. 16:63-70, 1978.

BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. **Introdução à análise de agrupamentos**. São Paulo: Associação Brasileira de Estatísticas, 1990. 105p.

BURNER, D.W.; TEW, T.L.; HARVEY, J.J.; BELESKY, D.P. Dry matter partitioning and quality of Miscathus, Panicum, Saccharum genotypes in Arkansas, USA. **Biomass Bioenergy**. 33:610-619, 2009.

CAIXETA, R. C.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Rev. Árvore**. 27:43-51, 2003.

CARPEJANI, G. C. **Divergência genética de *Panicum maximum* para caracteres qualitativos e quantitativos com base em análise multivariada**. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, 2008. 74p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia).

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

CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; PELEGRIN, A. J.; KAVALCO, S. A. F.; DE SOUZA, V. Q. Análise de trilha e multivariada em milho submetido a diferentes tratamentos de sementes. **Tecnol. & Ciênc. Agropec.** 10:74-81, 2016.

CASTRO, F. M. R. **Potencial Agrônômico e Energético de Genótipos de Sorgo Biomassa**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. 80p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).

ÇARPICI, E. B.; ÇELIK, N.; BAYRAM, G. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. **Turkish Journal of Field Crops**. 15:128-132, 2010.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_04_09_05_00_boletim_graos_fevereiro_2016.pdf>. Acesso em: 28, julho, 2016.

CONCEIÇÃO, L. D. C. S.; DOERR, L. M. W.; NETO, J. F. B. Seleção para tolerância ao alumínio em milho com base em parâmetros genéticos e análise multivariada. **Bragantia**. 69:807-814, 2010.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. 585p.

- CRUZ, C. D. **Programa Genes: Análise multivariada e simulações**. Viçosa: UFV, 2006. 175p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2006. v. 2, 585p.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema. 2011. 424p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. UFV: Viçosa, Brasil, 2012. 514p.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. 35:271-276, 2015.
- CUNHA, E. E.; LIMA, J. M. P.; LIRA, M. A. Herdabilidade e correlações entre caracteres produtivos de cultivares de sorgo forrageiro. In: 46° Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia – Maringá, PR. 2009 **Anais...SBZ**, 2009. p.1-3.
- 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**. 39:701-706, 2010.
- DA SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; Da CUNHA, A. B. **Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/05-Silvicultura/SIL-Artigo-36.pdf>>. Acesso em: 9 de setembro de 2016.
- DA SILVA, K. G. **Diversidade genética entre linhagens de sorgo granífero utilizando descritores morfoagronômicos e marcadores moleculares**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2016. 46p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento).
- DAMASCENO, C. M. B. Genômica do sorgo sacarino e análise de marcadores genéticos moleculares para característica para características de interesse agrônomo e industrial. **Agroenergia em Revista**. 3:10-11, 2011.
- DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, R. A. C.; De SOUZA, V. F.; SIMEONE, M. L.F.; SCHAFFERT, R. E. **Análise Morfoagronômica e Bioquímica de Um Painel de**

Sorgo Energia para Características Relacionadas à Qualidade da Biomassa.

Setes Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 7p.

DOS SANTOS, E. A.; DA SILVA, D. S.; FILHO, J. L. Q. Composição Química do Capim-Elefante cv. Roxo Cortado em Diferentes Alturas. **Rev. bras. zootec.** 30:18-23, 2001.

DOS SANTOS, F. C.; FILHO, M. R. A.; DE REZENDE, A. V.; DE OLIVEIRA, A. C.; GOMES, T. C.; OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa -produtividade e qualidade de fibra. **Revista brasileira de Milho e Sorgo.** 13:1-13, 2014.

DURÃES, N. N. L. **Heterose em sorgo sacarino.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. 97p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

DUTRA FILHO, J. A.; DE MELO, L. J. O.; RESENDE, L. V.; FILHO, C. J. A.; BASTOS, G. Q. Aplicação de técnicas multivariadas no estudo da divergência genética em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica.** 42:185-192, 2011.

ENTRINGER, G. C.; SANTOS, P. H. A. D.; VETTORAZZI, J. C. F.; CUNHA, K. S.; PEREIRA, M. G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. **Rev. Ceres.** 61:356-361, 2014.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa.** Viçosa: UFV, 1987. 279p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics.** Ed. 4. Longmans Green, Harlow, Essex, UK, 1996. 464p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Coarse grains of 2014.** Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3751e.pdf>. Acessado em: 12 de out de 2016.

FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P.; SILVA FILHO, J. L.; TEODORO, P. E. Correlations and path analysis among agronomic and technological traits of upland cotton. **Genetics and Molecular Research.** 13:2-8, 2015.

FARIAS, G. A. A. M.; FARIAS, J. G.; NORONHA, J. F. Rentabilidade da produção de vassouras de sorgo vassoura (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH). **Pesquisa Agropecuária Tropical.** 30:97-102, 2000.

- FAVARATO, L. F.; PAULA, G. S.; ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V.S. **Avaliação de linhagens de sorgo vassoura na região de Viçosa, MG, Brasil**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. 10:82-86, 2011.
- FERREIRA, D. F.; DE OLIVEIRA, A. C.; DOS SANTOS, M. X.; RAMALHO, M. A. P. Métodos de avaliação da divergência genética em milho e suas relações com os cruzamentos dialélicos. **Pesq. agropec. Bras.** 30:1189-1194, 1995.
- FIORINE, I. V. A. **Desempenho de cultivares de sorgo em função de populações de plantas, épocas de semeadura e de corte**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. 75p. (Tese – Doutorado em Agronomia/Fitotecnia).
- FILHO, J. E. A. **Avaliação agrônômica e de estabilidade e adaptabilidade de genótipos de sorgo granífero**. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2012. 95p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Implications of selection in common bean lines in contrasting environments concerning nitrogen levels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 14:160-165, 2014.
- GANI, A.; NARUSE, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**. 32:649-661, 2007.
- GIACOMINI, I.; PEDROZA, M. M.; SIQUEIRA, F. L. T.; MELLO, S. Q. S.; CERQUEIRA, F. B.; SALLA, L. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeoambiental**. 5:73-81, 2013.
- GONÇALVES, P. S.; MARTINS, A. L. M.; BORTOLETTO, N.; TANZINI, M. R. Estimates of genetic parameters and correlations of juvenile character based on open pollinated progenies of Hevea. **Brazilian Journal of Genetics**. 19:105-111, 1996.
- HARTHMANN, O.E.L., JACQUES, A.V.A., TERMIGNONI, R.R. Avaliação agrônômica e plantas de capim-elefante (*Pennisetum purpureumschum*), regeneradas in vitro. Qualidade da forragem. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, Fortaleza, 1996. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. v.2, p.53-55.FFM.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em Larga escala no curto prazo**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. 128p. (Dissertação – Mestrado em Planejamento Energético).

HOFFMANN JR., L. ROONEY, W. L. Accumulation of Biomass and Compositional Change Over the Growth Season for Six Photoperiod Sorghum Lines. **Bioenerg. Res.** 7:811–815, 2014.

HORST, D. J. **Avaliação da produção energética a partir de ligninas contidas em biomassas**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. 106p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Produção).

INTER ACADEMY COUNCIL – IAC. **Biomass Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future**. Disponível em: <<http://www.interacademycouncil.net/>> Acesso em: 20, janeiro, 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações Automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 20, julho, 2015.

JOHNSON, T.L, KEITH, D.W. Fossil electricity and CO₂ sequestration: how natural gas prices, initial conditions and retrofits determine the cost of controlling CO₂ emissions. **Energy Policy**. 32:367-382, 2004.

KELLEY, S. S.; ROWELL, R. M.; DAVIS, M.; JURICH C. K.; IBACH R. Rapid analysis of the chemical composition of agricultural fibers using near infrared spectroscopy and pyrolysis molecular beam mass spectrometry. **Biomass and Bioenergy**. 27:77-98, 2004.

KIM, H. S.; CHO, D.H.; WON, K.; KIM, Y.H. Inactivation of coprinus cinereus peroxidase during the oxidation of various phenolic compounds originated from lignin. **Enzyme Microbiology Technology**. 45:150-155, 2009.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Clima: cultivo do sorgo**. 5ed. Sete Lagoas EMBRAPA Milho e Sorgo, 2009. 30p.

LACERDA, M. L.; SOUZA, V. B.; BRITO, O. G.; OLIVEIRA, M. B.; SOUZA, A. A.; MEDEIROS, J. C.; CARVALHO, A. J. Início do florescimento de linhagens de feijão-

caupi de porte ereto e semiereto do ano de 2013 no norte de minas gerais. In: 8º Fórum Ensino, Pesquisa, Extensão e Gestão, Rio de Janeiro, RJ. 2013. **Anais...** Rio de Janeiro: FEPEG, 2013. p.1-3.

LEONHARDT, L.; ETCHEPARE, H. D.; SANTANA, E. R. R.; OLIVEIRA, E. C. A Influência da umidade da lenha de eucalipto na produção de vapor em uma caldeira flamo tubular. **Open Journal Systems**. 1:1-12, 2014.

LI, C. C. **The concept of path coefficient and its impact on population genetics.** **Biometrics**. 12:190-220, 1956.

LI, C. C. **Path analyses – a primer.** Washington: Boxwood, 1975. 346p.

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

LORENTZ, L. H.; FORTES, F. O.; LÚCIO, A. D. Análise de trilha entre as variáveis das análises de sementes de espécies florestais exóticas do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**. 30:567-574, 2006.

MACHADO, C. F. **Procedimentos para a escolha de genitores de feijão.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. 118p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

MAGALHÃES, P. C.; DURÕES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Ecofisiologia da produção de sorgo.** Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2003, 4p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica 87).

MARABEZZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e homocelulose em amostra de bagaço e palha de cana-de-açúcar.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2009. 158p. (Dissertação - Mestrado em Ciências Físico-Química).

MARTINI, P. R. R. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 139p. (Dissertação - Mestrado em Química).

MAY, A. **Cultivo de Sorgo Sacarino em Áreas de Reforma de Canaviais.** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2013. Circular Técnica. 36p.

MAY, A.; RESENDE, A. V.; DA SILVA, D. D.; DOS SANTOS, F. C.; COTA, L. V.; DE OLIVEIRA, P. A.; MENDES, S. M.; PARRELLA, R. A. C.; DA COSTA, R. V.; MIRANDA, R. A. Cultivo de sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

McKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**. 83:37-46, 2002.

MENEZES, B. R.S.; DAHER, R. F.; GRAVINA, G. A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; OLIVEIRA, A. V.; SCHNEIDER, L. S. A.; SILVA, V. B. Correlações e análise de trilha em capim-elefante para fins energéticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 9:465-470, 2014.

MEYER, A. S. **Comparação de coeficientes de similaridade usados em análise de agrupamento com dados de marcadores moleculares dominantes**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002. 118p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia).

MIRANDA, M. R. S. **Bagaço do sorgo: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011. 105p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Química).

MONTEIRO, E. R.; BASTOS, E. M.; LOPES, Â. C. A.; GOMES, R. L. F.; NUNES, J. A. R. Diversidade genética entre acessos de espécies cultivadas de pimentas. **Ciência Rural**. 40:288-293, 2010.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504p.

MUTISSYA, J. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**. 166:428-434, 2009.

NAGAIHAH, D.; SRINIVASA RAO, P.; PRAKASHAM, R. S.; UMA, A.; RADHIKA, K.; YOGANAND, B.; UMAKANTH, A. V. High Biomass Sorghum as a Potential Raw Material for Biohydrogen Production: A Preliminary Evaluation. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**. 6:183-189, 2012.

NEUMANN, M.; RESTLE, J. ALVES, FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; PELLEGRINI, L. G.; FREITAS, A. K. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de

diferentes genótipos e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**. 31:293-301, 2002.

NEVES, S. M. A. S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano Geográfico**. 31:55-68, 2011.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; OLIVEIRA SELVA, V. - Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando a produção de carvão. **Pesq. flor. bras.** 31:319-330. 2011.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no vale do São Francisco. **Energ. Agric.** 29:27-38, 2014.

OYKUNLEA, M.; BADU-APRAKU, B.; HEARNEA, S.; FRANCOA J. Genetic diversity of tropical early-maturing maize inbreds and their performance in hybrid combinations under drought and optimum growing conditions. **Field Crops Res.** 170:55-65, 2015.

OLIVEIRA, M. S. et al. Avaliação e caracterização de genótipos de sorgo biomassa na região de Sete Lagoas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2014.

OLIVEIRA, T. C.; GONÇALVES, D. L.; RODRIGUES, A. P. S.; BARELLI, M. A. A.; TARDIN, F. D.; NEVES, L. G. Caracterização da divergência genética de sorgo sacarino na região de Cáceres-MT. In: XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Salvador, 2015. **Anais...** Salvador: CNMS, 2015. p.1-4.

OLIVEIRA, T. S.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; REIS, S. T.; AGUIAR, E. F.; SOUZA, A. S.; SILVA, G. W. V.; DUTRA, E. S.; SILVA, C. J.; ABREU, C. L.; BONATTI, F. Q. K. Composição química do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com diferentes doses de uréia e soja grão. **Arch. Zootec.** 60:625-635, 2011.

OLIVETTI, M. P. A.; CAMARGO, A. M. M. P. **Aspectos econômicos e desenvolvimento da cultura do sorgo. Informações Econômicas**. 1997, 1p.

OLSON, S. N.; RITTER, K.; ROONEY, W.; KEMANIAN, A.; MCCARL, B. A.; ZHANG, Y.; HALL, S.; PACKER, D.; MULLET, J. High biomass yield energy sorghum: developing a genetic model for C4 grass bioenergy crops. **Biofuels Bioprod. Bioref.** 6:640–655, 2012.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, J. A.; QUEIROZ, D. S.; SILVA, D. S. Composição química e digestibilidade de lâminas foliares e colmos de gramíneas forrageiras e, função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Rev. bras. zootec.** 30:964-974, 2001.

PAIVA DE, J. R.; ROSSETTI, A. G.; GONÇALVES, P. S. **Uso de coeficiente de caminhamento no melhoramento de seringueira.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 17:433-440, 1982.

PAIXÃO, S. L.; CAVALCANTE, M.; FERREIRA, P. V.; MADALENA, J. A. S.; PEREIRA, R. G. Divergência genética e avaliação de populações de milho em diferentes ambientes no estado de alagoas. **Caatinga.** 21:191-195, 2008.

PARRELLA, R. A. da C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de genótipos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PARRELLA, R. A. Da C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo biomassa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 19p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

PARRELLA, R. A. Da C.; RESENDE, A. V.; MAY, A.; DA SILVA, D. D.; DOS SANTOS, F. C.; COTA, L. C.; DE OLIVEIRA, P. A.; MENDES, S. M.; DA COSTA, R. V.; DE MIRANDA, R. A. **Cultivo de sorgo biomassa para cogeração de energia.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 69p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 152).

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Rev. Cerne.** 17:237-246, 2011.

PEREIRA, G. A.; PARRELLA, R. A. C.; PARRELLA, N. N. N. L.; SOUZA, V. F.; SCHAFFERT, R. E.; COSTA, R. K. Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo biomassa. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindóia, 2012. **Anais...** Águas de Lindóia: CNMS, 2012. p.1-7.

- PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, L. C.; VITAL, B. R. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* Clones for iron master use. **International Journal of Forestry Research**. 10:1-8, 2012.
- PERAZZO, A. L.; CARVALHO, G. G. P.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; MACEDO, C. H. O.; AZEVÊDO, J. A. G.; TABOSA, J. N. Agronomic evaluation of 32 sorghum cultivars in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 43:232-237, 2014.
- PETROF, G.; DOAT, J. Pirólise de madeira tropical. Influência da composição química da madeira sobre os produtos de destilação. **Revue Bois et Forêt Tropiques**. 177:51-64, 1978.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.
- PRATTI, R. L. **Formação de povoamentos florestais com utilização de mudas clonais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. 68p. (Especialista – Gestão Florestal).
- QUIRINO, W. F.; DO VALE, A. T.; DE ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVÊDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**. 1:173-182, 2004.
- R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/fullrefman.pdf>. Acesso em: 16 de Junho de 2016.
- RABELO, M. M.; PARELLA, R. A. C.; NETTO, D. A. M.; SCHAFFERT, R. E.; SOUZA, V. F.; FRANÇA, A. E. D.; DA SILVA, M. J.; OLIVEIRA, M. S. Avaliação de sorgo biomassa visando a produção de bioenergia. In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, São Paulo, 2014. **Anais...** São Paulo: CIB, 2014. p.1-4.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMAN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. 1 ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiânia, 1993. 271p.

- RAMALHO, M. A.P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2012. 522p.
- RANGEL, P. H. N.; CRUZ, C. D.; VENCOVSKY, R. FERREIRA, R. P. Selection of local lowland rice cultivars based on multivariate genetic divergence. **Revista Brasileira de Genética**. 14:437-453, 1991.
- RAO, R. C.; WILEY, J.; SONS, I. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: NY, 1952. 390p.
- RIBAS, P. M. **A implantação da cultura do sorgo**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2003. Comunicado Técnico. 4p.
- RIOS, S. A.; BORÉM, A.; GUIMARÃES, P. E. O.; PAES, M. C. D. Análise de trilha para carotenoides em milho. **Revista Ceres**. 59:368-373, 2012.
- ROCHA, J. R. A. S. C. **Pré-melhoramento de capim-elefante para produção de bioenergia**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015. 50p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, J. C.; MULLER, M. D.; CARNEIRO, P. C.S. Importância de caracteres morfoagronômicos na determinação da diversidade genética para usos energéticos do capim-elefante. In: III Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, Santos, SP. 2014. **Anais...** Santos: CBRG, 2014. p.1-1.
- ROCHA, M. J.; LEITE, P. S. S.; LOMBARDI, G. M. R.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; FAGUNDES, F. G.; BOTELHO, T. T. Divergência genética entre genótipos de sorgo sacarino usando técnicas multivariadas. In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, São Paulo, 2014. **Anais...** São Paulo: CIB, 2014. p.1-5.
- ROCHA, G. J. M.; SILVA, F. T.; CURVELO, A. A. S; ARAÚJO, G. T.; Chemistry of Lignins and Other Wood Components. In: 5th Brazilian Symposium of Chemistry, Paraná, PR. 1997. **Anais...** Paraná, 1997, p.1-4.
- RODRIGUEZ, N.M., BENEDETTI, E., GONÇALVES, L.C. Estudo do potencial nutritivo das folhas e caules de três espécies forrageiras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31, Maringá, 1994. **Anais...**Maringá: SBZ, 1994, p.269.

RODRIGUES, F. **Fenotipagem e seleção de linhagens de sorgo quanto à eficiência e reposta a fósforo**. Lavras: Universidade federal de Lavras, 2010. 96p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

SAKAGUTI, E.S. **Utilização de técnicas de análise multivariada na avaliação de cruzamentos dialélicos em coelhos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 181p. (Dissertação – Mestrado em Zootecnia).

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. **Melhoramento de sorgo**. In: Borém, A. (Ed). Melhoramento de espécies cultivadas. 2. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 605-658p.

SANTOS, F.G., CASELA, C. R., WAQUIL, J. M. **Melhoramento de Sorgo**. In: BORÉM, A. (org). Melhoramento de Espécies Cultivadas. Viçosa: UFV, 2005.429-466p.

SANTOS, M. J. C.; SANTOS, F. R.; RIBEIRO, M. J. B. - Parâmetros Interdimensionais de Clones de Eucalipto em Sistema Silvipastoril na Região Semiárido. **Agroecol.** 9:1-11, 2014.

SCGARR, A. **Seis grupos se interessam e NexSteppe amplia 10 vezes cultivo do sorgo biomassa**. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/alternativas/nexsteppe-cultivo-sorgo-biomassa-300415/>. Acesso em: 12 de out de 2016.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics.** 30:507-512, 1974.

SILVA, A. L da. S.; TARDIN, F. D.; ROTTA, G. W.; BALBONI, A. B.; BARELLI, M. A. A.; SILVA da. A. f.; GONÇALVES, D. R.; SILVA, F. B.; RIBEIRO, J. R. D.; PARRELLA, R. A. da. C. Characterization of biomass sorghum cultivars aiming to generate energy for the north region of Mato Grosso, Brazil. **Nativa.** 4:175-178, 2016.

SILVA, G. C.; DE OLIVEIRA, F. J.; FILHO, C. J. A.; NETO, D. E. S.; DE MELO, L. J. O. T. Divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** 6:52-58, 2011.

SILVA, P. P. **Divergência genética em genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) através de caracteres morfoagronômicos e por marcadores**

moleculares. Rio Largo: Universidade Federal de Alagoas, 2006. 96p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).

SILVEIRA, L. C. I.; BRASILEIRO, B. P.; KIST, V.; WEBER, H.; DAROS, E.; PETERNELLI, L. A.; BARBOSA, M.H.P. Selection strategy in families of energy cane based on biomass production and quality traits. **Euphytica**. 204:443–455, 2015.

SIMON, G. A.; KAMADA, T.; MOITEIRO, M. Divergência genética em milho de primeira e segunda safra. **Ciências Agrárias**. 33:449-458, 2012.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**. 41:237-245, 1981.

SHIMAKURA, S. E.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Estatística Descritiva: interpretação do coeficiente de correlação**. Departamento e Estatística da UFPR. 2012. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~ce003/ce003/node8.html>>. Acesso em: 08 de dezembro, 2013.

SMITH, A. D. **Wood as fuel**. Foster Wheeler Limited. Mimeograph. 1976. 32p.

SOARES, V. C.; BIANCHINI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; HOFER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de genótipos de eucalipto. **Revista Árvore**. 38:543-549, 2014.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxonomy**. 11:30-40, 1962.

SOUZA, V. F.; HATT, S.; PARRELLA, R. A. C.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. Estimativas de Correlações Fenotípicas e Genotípicas entre Parâmetros Agroindustriais do Sorgo Sacarino. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindoia, 2012. **Anais...ABMS**, 2012. p.2431–2436.

TABOSA, J. N.; SILVA, F. G.; NASCIMENTO, M.M. A.; BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Genótipos de Sorgo Forrageiro no Semiárido de Pernambuco e Alagoas – estimativas de parâmetros genéticos de variáveis de produção. In: XXIX Congresso nacional de milho e sorgo - Águas de Lindóia, SP. 2012 **Anais...ABMS**, 2012. p.2519-2525.

TEIXEIRA, A. M.; RIBEIRO, G. O. J.; VELASCO, F. O.; FARIA, W. G. J.; RODRIGUEZ, N. M.; RODRIGUES, J. A. S.; MCALLISTER, T.; GONÇALVES, L. C.

Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) silages with differentt annin contents in sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 43:14-19, 2014.

TRUGILHO, P. F.; REGAZZI, A. J.; VITAL, B. R.; GOMIDE, J. L. Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira de Eucalyptus e seleção de genótipos superiores para produção de carvão vegetal. **Rev. Árvore**. 21:99-111, 1997.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal Agricultural Research**. 20: 1921. 557-585p.

WIGHT, J. P.; HONS, F. M.; STORLIEN, J. O.; PROVIN, T. L.; SHAHANDEH, H.; WIEDENFELD, R. P. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**. 46:563-604, 2012.