

RICARDO AUGUSTO DINIZ CABRAL FERREIRA

**MODELO DIALÉTICO COM INFORMAÇÃO DE REPETIBILIDADE NO
MELHORAMENTO GENÉTICO DE CAPIM ELEFANTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

F383m
2018
Ferreira, Ricardo Augusto Diniz Cabral, 1987-
Modelo dialético com informação de repetibilidade no
melhoramento genético de capim elefante / Ricardo Augusto Diniz
Cabral Ferreira. - Viçosa, MG, 2018.
vi, 33f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Cosme Damião Cruz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Capim elefante - Melhoramento genético. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-
Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 633.272

RICARDO AUGUSTO DINIZ CABRAL FERREIRA

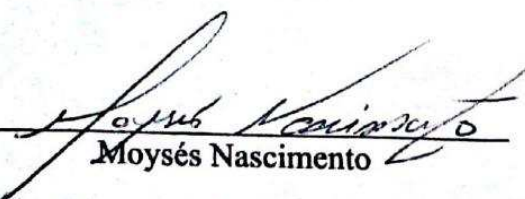
**MODELO DIALÉLICO COM INFORMAÇÃO DE REPETIBILIDADE
NO MELHORAMENTO GENÉTICO DE CAPIM ELEFANTE**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 22 de fevereiro de 2018.


Leonardo Lopes Bhering


Juarez Campolina Machado


Moysés Nascimento


Fabyano Fonseca e Silva
(Coorientador)


Cosme Damião Cruz
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A DEUS por sempre me abençoar.

Aos meus pais José Ricardo e Mardele pelo amor e por todo apoio durante essa jornada.

À Universidade Federal de Viçosa – UFV, professores, funcionários e amigos.

À EMBRAPA Gado de Leite, todos os funcionários e amigos pela oportunidade de estágio durante o doutorado.

Ao Prof. Cosme pela orientação, apoio, amizade e ensinamentos. Sua simplicidade, dedicação e a alegria serão exemplos que me acompanharão por toda a vida.

Aos meus coorientadores Fabyano Fonseca e Silva, Juarez Campolina, pelos ensinamentos e orientações durante o curso e pelo apoio na realização deste experimento. Obrigado!

Ao Departamento de Estatística da UFV, especialmente ao Prof. Moisés, pelo apoio e disponibilidade no desenvolvimento do trabalho.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade e sugestões para a tese.

Ao Dr. Juarez Campolina Machado pela oportunidade que me deu em estagiar na Embrapa, por todos ensinamentos durante todo tempo e principalmente por todo apoio e amizade dado ao longo do trabalho e da vida.

Aos colegas e amigos do laboratório de bioinformática Haroldo, Vinícius, Gislâyne, João, Luiza, Marciane, Gabi, Lais, Juninho, Cristiano, Daiana, Isabela, Iara e Francyse.

A minha esposa Suellen pelo apoio e dedicação ao longo do doutorado. Sem seu amor tudo teria sido mais difícil e menos importante.

Aos amigos de república, Rafael, Willian, Fagner e Jeferson por todos anos de convivência, apoio e amizade que levo pra vida.

Aos amigos de Lavras, que continuaram com o apoio e amizade mesmo com a distância.

Ao CNPq e a Capes pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e no doutorado Sanduiche.

BIOGRAFIA

RICARDO AUGUSTO DINIZ CABRAL FERREIRA, filho de José Ricardo Cabral Ferreira e Mardele Myriam Diniz Cabral, nascido em 01 de Julho de 1987, em Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais.

Cursou o ensino fundamental e médio em Sete Lagoas/MG e em 2006 iniciou a graduação em Engenharia Agrônômica/Bacharelado, na Universidade Federal de Lavras – UFLA, no estado de Minas Gerais.

Em 2006 iniciou como estagiário voluntario e em 2007 como bolsista de iniciação científica pelo Fapemig trabalhando com Melhoramento do Feijoeiro sob orientação do Prof. Dr. Magno Antônio Patto Ramalho e co-orientação da Dr. Angela de Fatima Barbosa, onde permaneceu até 2009.

Em 2010 participou do programa de extensão universitária da University of Minnesota em Minnesota/EUA, onde trabalhou na fazenda da família McMahon por quatro meses em Dakota do Norte e nove meses no programa de melhoramento de soja da Universidade de Minnesota, atuando ativamente na purificação de sementes.

Retornou da extensão universitária em agosto de 2011 e sob orientação do Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho, teve a monografia aprovada nesse mesmo ano.

Em Março de 2012 foi selecionado pelo programa de Pós-Graduação, Mestrado *Stricto Sensu*, em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Lavras Sob orientação do professor Magno Antonio Patto Ramalho. A dissertação intitulada de “IMPLICAÇÕES DO NÚMERO DE ANOS NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO” foi aprovada em 19 de fevereiro de 2014.

Em Março de 2014 iniciou o curso de doutorado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa sob orientação do Dr. Cosme Damião Cruz. Ao longo do curso participou do programa de doutorado sanduíche, onde passou dez meses como Visiting Scholar na Wageningen University sob a orientação do Dr. Marcos Malosetti. Estagiou na EMBRAPA Gado de Leite sob coorientação do Dr. Juarez Campolina Machado onde desenvolveu a tese intitulada “Modelo dialético com informação de repetibilidade no melhoramento genético de capim elefante”.

RESUMO

FERREIRA, Ricardo Augusto Diniz Cabral, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Modelo dialético com informação de repetibilidade no melhoramento genético de capim elefante.** Orientador: Cosme Damião Cruz. Coorientador: Fabyano Fonseca e Silva.

O capim-elefante é uma cultura perene alógama com reprodução assexuada. Devido a essas características, os melhoristas têm como alternativa desenvolver híbridos para explorar a heterose. Uma das dificuldades para obter os melhores híbridos é a escolha dos genitores. Uma das alternativas para a escolha dos genitores é realizar cruzamentos dialéticos e realizar as análises para obter informações sobre as capacidades geral e específica de combinação. No entanto, sendo uma cultura perene, diversos cortes são realizados, ou seja, várias medidas em um mesmo indivíduo são realizadas, dificultando a avaliação dos dados nas análises estatísticas. Para esse tipo de dados uma forma simples de fazer a análise é utilizar os modelos de repetibilidade. Dessa maneira um modelo de análise dialética que permite estimar a capacidade geral e específica de combinação e a repetibilidade seria mais adequado que os modelos que não permitem a estimação da repetibilidade e, portanto, não levam em consideração a forma que os dados foram obtidos. Assim, foi proposto no presente trabalho, um modelo de análise dialética com informação de repetibilidade e a aplicação desse modelo em dados obtidos de um cruzamento dialético de capim elefante. Foram utilizadas informações de cinco cortes para características morfológicas e dois cortes para características de valor nutritivo. O modelo dialético com a informação de repetibilidade permitiu estimar além do efeito genético, informações sobre o número de cortes e interação de corte x genótipos. Foi evidenciado que o modelo proposto mostrou ser uma alternativa que permitiu estimar os parâmetros genéticos para escolha de parentais além de levar em consideração a estrutura de medidas repetidas dos dados.

ABSTRACT

FERREIRA, Ricardo Augusto Diniz Cabral, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Diallel model with repeatability information in the elephant grass breeding program.** Adviser: Cosme Damião Cruz. Co-adviser: Fabyano Fonseca e Silva.

Elephant grass is an allogamous perennial crop with asexual reproduction. Because of these characteristics, the plant breeders have with alternative to develop hybrids to explore the heterosis. One of difficulties to develop hybrids is the choice of the parents. One alternative for this problem is make a crossings following a scheme and analyze the data to estimate the general and specific combination. However, as a perennial crop, several cuttings are made or in other words repeated measured are made, and it difficult to evaluate the data in the statistical analyzes. For this type of data, a simple way to do the analysis is to use repeatability models. In this way, a diallel analysis model that allows to estimate the general and specific combination ability and repeatability would be more adequate instead the models that do not allow the repeatability estimation and, therefore, do not take into account how the data were obtained. Thus, we proposed in the present study, a diallelic analysis model with repeatability and we gave an application of this model in data obtained from a diallel cross of elephant grass. It was used information of five cuttings for morphological traits and two cuttings for nutritive value traits. The diallel model with repeatability information allowed estimate in addition to the genetics effects, information about the number cuttings and genotype x cutting interaction. It was evidenced that the proposed model was a better alternative to analyze the data allowing to estimation of genetic parameters for choosing the best parents, besides taking into account the structure of repeated measurements of the data.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1. CARACTERIZAÇÃO DO CAPIM-ELEFANTE	2
2.2. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E IMPLANTAÇÃO DA CULTURA.....	3
2.3. USO DO CAPIM ELEFANTE	4
2.4. REPETIBILIDADE E O USO EM CAPIM-ELEFANTE	6
2.5 MODELO DE REPETIBILIDADE	7
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
4. ARTIGO CIENTÍFICO:.....	16
DIALLEL MODEL WITH REPEATABILITY INFORMATION.....	16
ABSTRACT	16
INTRODUCTION.....	17
MATERIAL AND METHODS.....	18
RESULTS.....	21
DISCUSSION	26
CONCLUSIONS	29
REFERENCES.....	30
ANEXOS.....	33

1. INTRODUÇÃO GERAL

O capim-elefante é a principal forrageira utilizada no Brasil para suplementação volumosa na época de menor disponibilidade de forragem. No decorrer do ano, ocorrem variações na qualidade e na produção da forragem, e em período de escassez, o capim-elefante pode ser utilizado para obter um equilíbrio entre a disponibilidade e a necessidade de forragem (QUEIROZ FILHO et al., 2000). Esta forrageira se destaca pela alta produção de matéria seca (MS) por unidade de área e pelo valor nutritivo, sendo cultivado em todo o Brasil, resistindo às condições climáticas desfavoráveis, como seca e frio (SARAIVA; KONIG, 2013). Nesse sentido, diversos são os estudos para melhorar sua produtividade e qualidade utilizando o melhoramento genético (CAVALCANTE et al., 2012; SALES et al., 2014; DA SILVA et al., 2014).

Além do uso como forrageira, o capim-elefante tem sido uma alternativa de destaque para a produção de bioenergia. É considerado uma cultura promissora para utilização como insumo bioenergético, principalmente por sua eficiência fotossintética (mecanismo C4 de fixação de carbono), alta produção de biomassa, perenidade, rápido crescimento, ampla adaptação, capacidade de fixação biológica de nitrogênio, além de suas propriedades químicas (ZENG-HUI; HONG-BO, 2010; RA et al., 2012; FONTOURA et al., 2015).

Os programas de melhoramento genético de capim elefante, assim como os de outras espécies alógamas, têm direcionado suas pesquisas para geração de híbridos superiores. Assim, uma importante ferramenta para geração de híbridos é o esquema de cruzamento em dialelo, que permite averiguar a capacidade combinatória de genitores e identificar cruzamentos que otimizam o efeito heterótico.

Diante do exposto, torna-se necessário a produção de híbridos superiores de capim-elefante com características satisfatórias para uso como forrageira ou produção de bioenergia. Dessa maneira, para uma melhor escolha dos genitores bem como das melhores combinações híbridas, é desejável obter as informações referentes a capacidades de combinação e também agregar as informações de repetibilidade. Assim, no presente trabalho foi proposto uma alternativa para análise dialélica com informações de repetibilidade, a partir do uso de modelos mistos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Caracterização do capim-elefante

O capim-elefante, cujo nome científico é *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, possui como sinônimo *Pennisetum purpureum* Schum. e foi descrito pela primeira vez em 1827, entretanto sofreu alterações no decorrer do tempo. Atualmente sua classificação botânica está descrita como pertence à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*, a qual reúne os mais importantes gêneros de plantas forrageiras tropicais, como *Urochloa*, *Megathyrsus*, *Setaria*, entre outros (CHEMISQUY et al., 2010).

Esta forrageira possui como centro de origem e variabilidade genética uma extensa área da África tropical, sendo as principais áreas de biodiversidade os territórios da Guiné, Moçambique, Angola, Zimbábue e sul do Quênia (FERREIRA; PEREIRA, 2005). No Brasil, a introdução do capim-elefante ocorreu em dois momentos, em 1920 no Rio Grande do Sul e em 1921 em São Paulo, com estacas provenientes dos Estados Unidos e Cuba, respectivamente. Porém, seu cultivo foi disseminado por todo país por apresentar ampla adaptação ao ambiente tropical e elevado potencial de produção e qualidade de forragem (PEREIRA et al., 2008; LIRA, et al., 2010).

O capim-elefante é uma planta perene, com número básico de cromossomos $x=7$, é um alotetraploide ($2n = 4x = 28$), com comportamento diplóide normal, apresentando genomas A'A'BB que compõem o conjunto gênico secundário (MARTEL et al., 1996; TECHIO et al., 2008). Alguns estudos, têm abordado a instabilidade do número de cromossomos nesta espécie, o que tem possibilitado classificação errônea de alguns genótipos. Um estudo que ilustra este fato foi conduzido por Davide et al. (2007), que analisaram a variação cromossômica do genótipo BAG 55, até então, pertencente à espécie *Pennisetum purpureum*. Os resultados das análises mitóticas e meióticas confirmaram o número cromossômico desse genótipo como sendo $2n=54$, indicando que não se trata de capim-elefante, mas de uma espécie selvagem do gênero *Pennisetum*.

No capim-elefante é observado uma distinção entre as características morfológicas e fenológicas. Dentre elas ressaltam-se: ciclo perene, hábito de crescimento cespitoso, colmos eretos, cilíndricos, glabros e preenchidos por um parênquima suculento, dispostos em touceiras; raízes grossas e rizomatosas. As folhas atingem até 1,25 m de comprimento por 4,0 cm de largura, nervura central larga de cor mais clara,

disposição alternada, bainha lanosa, fina, estriada, lígula curta e ciliada. (NASCIMENTO JUNIOR, 1981; ALCANTARA; BUFARAH, 1983; DERESZ, 1999).

O conhecimento acerca do sistema reprodutivo e o modo de propagação de uma espécie é importante para propor as estratégias adequadas para serem empregadas no programa de melhoramento genético. As inflorescências do capim-elefante é uma panícula primária e terminal, em que cada colmo pode apresentar uma ou um conjunto de panículas. A panícula tem em média 15 cm de comprimento, composta por espiguetas (sementes) de coloração amarelada ou púrpura densamente floridas por espiguetas isoladas ou em grupos e as flores podem ser unissexuais masculinas ou hermafroditas. O intervalo médio de tempo decorrido entre a emissão dos estigmas e a abertura das anteras é de aproximadamente sete dias (DERESZ, 1999), o que dificulta a autofecundação e facilita os cruzamentos controlados. A variação do florescimento entre os genótipos permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios. É uma espécie alógama, protogínica, sendo que a taxa de polinização cruzada depende da época de florescimento dos genótipos envolvidos (LIRA et al., 2010).

As sementes de capim-elefante apresentam baixa germinação e vigor devido à depressão por endogamia. Isso porque a maioria das cultivares são clones, e as sementes produzidas provêm de autofecundação do mesmo genótipo. Por esse motivo, o capim-elefante é propagado vegetativamente (PEREIRA et al., 2001). Para este cultivo, são utilizados segmentos de colmos garantindo que a identidade genética dos clones possa ser mantida a cada geração, bem como permite a obtenção de populações uniformes (PEREIRA; LÉDO, 2008). No entanto, Xavier et al. (1993) ressaltam que, embora haja baixa taxa de viabilidade do cultivo por meio de sementes (23 a 36%), a germinação pode atingir até 90% em alguns genótipos, o que possibilita a exploração de cruzamentos controlados.

A partir das cultivares Napier e Mercker e de novas introduções, desenvolveu-se, por meio de cruzamentos, grande número de genótipos que se encontram hoje distribuídos por quase todo o território brasileiro devido às ótimas condições edafoclimáticas encontradas para o cultivo do capim-elefante (DAHER et al., 2002). De acordo com Lira et al. (2010), a variabilidade fenotípica existente no germoplasma do capim-elefante permite classificar os genótipos em cinco grupos: Cameroon, Napier, Mercker e Anão.

2.2. Características agronômicas e Implantação da cultura

As características agronômicas do capim-elefante foram resumidas por Alcântara e Bufarah (1983), onde pode-se encontrar as principais condições de adaptação. A altitude apta ao cultivo varia desde o nível do mar até 2.200 metros, sendo mais adaptada à altitudes de até 1.500 metros. Já em relação a temperatura, esta varia de 18 a 30°C. No entanto, dependendo da cultivar, pode suportar o frio e até geadas. A precipitação ideal varia de 800 a 4.000 mm, vegetando em regiões quentes e úmidas com precipitação anual de mais de 1.000 mm, porém o mais importante é sua distribuição ao longo do ano, por ser uma forrageira muito estacional, onde 70 - 80 % de sua produção ocorre na época das águas. Possui baixa tolerância à seca, podendo atravessar a estação seca com baixa produção se possuir raízes profundas e bem estabelecidas. Em relação ao solo, adapta-se bem a diferentes tipos, com exceção dos solos mal drenados, com possíveis inundações. É encontrado em barrancas de rios, regiões úmidas e orlas de floresta.

Quanto à implantação, possui especificações necessárias de espaçamento, tamanho de covas e qualidade de mudas. Segundo Vilela (2009), o preparo do solo deve ser realizado com a eliminação de torrões e tocos, com posterior aração e gradagem, tornando o solo homogêneo. A análise do solo, neste momento, é de suma importância para garantir o desenvolvimento da cultura, fazendo as correções necessárias, e o plantio pode ser feito manualmente ou através de utilização de maquinários. O método de plantio determina o custo de implantação, bem como a disposição e população de plantas na área. Pode ser feita em sulcos ou através de covas. Quando a escolha de plantio se faz por meio de sulcos, Alcântara e Bufarah, (1983), citam que estes devem ter uma profundidade de 10 a 15 cm, depositando-se o colmo na posição de pé com ponta.

Com relação à qualidade de mudas, Martins e Fonseca (1998), inferem que o colmo deve ter em média 100 dias, já apresentando gemas laterais, porém sem indício de brotação. As melhores mudas são obtidas dos 2/3 inferiores do colmo, e mudas de plantas velhas devem ser evitadas, mas quando utilizadas devem ser colocadas em maior quantidade por sulco (LOPES, 2004).

2.3. Uso do capim elefante

O capim-elefante possui elevado potencial de produção e é utilizado de diversas formas como forrageira, seja para pastejo, ensilagem, feno ou picado verde, sendo assim, a maioria dos programas de melhoramento do capim-elefante está direcionada para este uso (PEREIRA et al., 2008). Esta forrageira destaca devido sua facilidade de adaptação às condições edafoclimáticas adversas (PACIULLO et al., 2008; LIMA et al., 2011), fácil

multiplicação, alta produção de forragem (PEGORARO et al., 2009), excelente potencial para produção de matéria seca, elevado valor nutricional e palatabilidade.

O elevado potencial de produtividade do capim-elefante está associado ao fato de compor o grupo de plantas de metabolismo C4, possuindo alta eficiência fotossintética. Para fins forrageiros, os estudos são voltados para características de valores nutritivos, tais como: alto teor de proteína e baixos teores de fibra, boa digestibilidade e palatabilidade (MONTEIRO et al 2011; OLIVEIRA et al. 2012).

No manejo, a frequência de corte influi no rendimento e na qualidade da forragem colhida. Em geral, o aumento do intervalo de cortes resulta em incrementos na produção de MS, o que é vantajoso, porém, ocorre declínio no valor nutritivo da forragem produzida o que é desvantagem (QUEIROZ FILHO et al., 2000). O capim elefante de forma geral apresenta altos teores de fibra na sua composição, tanto para fibra em detergente neutro (FDN) como para fibra em detergente ácido (FDA). É importante a avaliação das fibras, já que FDN está relacionada ao consumo de matéria seca e FDA está correlacionada à digestibilidade da matéria seca (KAYONGO MOLE et al., 1974; CECATO, 1993). Avaliando as diferentes idades de rebrota (WIJITPHAN et al., 2009; SALES et al., 2014), do capim-elefante, percebe-se que FDN e FDA aumentam com o avanço da idade, papel inverso ocorre com a quantidade de proteína bruta da forrageira, que diminui com o avanço da idade de rebrota. Isso ocorre devido à relação colmo/folha, já que quando a planta é mais jovem ele tem alta razão de peso foliar (RPF), ou seja, apresenta maior quantidade de folha em relação à quantidade de colmo, (LIMA et al., 2010). Segundo Virguez (1966), quando se tem uma melhor relação colmo/folha, tem-se um genótipo de menor produtividade.

Além da utilização do capim-elefante na alimentação animal, como tem sido seu uso tradicional, estudos apontam um grande potencial desta espécie como fonte alternativa de energia (PATERLINI et al., 2013; LAURENT et al., 2015; MOHAMMED et al., 2015; BORGES et al., 2016; GHOSH, 2016;). Para a produção de bioenergia, o objetivo é obter o máximo rendimento de biomassa, com qualidade adequada seja para a combustão direta ou para a conversão em biocombustíveis (STREZOV et al., 2008; PROCHNOW et al., 2009; NAIK et al., 2010). O capim-elefante, em síntese, apresenta várias vantagens para produção de biomassa em relação às demais matérias-primas, tais como: maior produtividade, menor extensão de área para uma dada produção, menor ciclo produtivo, podendo ser realizado dois cortes por ano, melhor fluxo de caixa, possibilidade de mecanização total, energia renovável e maior assimilação de carbono (MAZZARELLA et al., 2015).

Visando produção de energia, algumas características devem ser levadas em consideração. Dentre essas características, quando destinado ao uso como fonte de energia térmica no processo de combustão deve apresentar altas concentrações de lignina e celulose (GANI; NARUSE, 2007), alta relação carbono/nitrogênio, alto poder calorífico, além de baixos teores de umidade, cinzas e nitrogênio (MCKENDRY, 2002; LONG et al., 2006; JARADAT, 2010). Para a produção de etanol celulósico, é desejável alta relação celulose/lignina, além de hemicelulose para proporcionar alta produção de etanol por tonelada de biomassa. Ademais, nos processos fermentativos, é desejável que a biomassa apresente alta concentração de carboidratos de baixo peso molecular em estado não polimerizado (PORTER et al., 2007).

2.4. Repetibilidade e o uso em capim-elefante

Como comentado, o capim-elefante é uma planta perene e diversos cortes são realizados. Assim, nos programas de melhoramento, ao selecionar um genótipo, espera-se que sua superioridade inicial perdure durante toda a sua vida. Dessa maneira, a veracidade dessa expectativa pode ser comprovada pelo coeficiente de repetibilidade (CRUZ et al., 2012). Este parâmetro mede a capacidade de os organismos repetirem a expressão do caráter ao longo de vários períodos de tempo, no decorrer de suas vidas (RESENDE, 2002). Altos valores desse coeficiente, para quaisquer características, indicam que é possível prever o valor real dos indivíduos com base em determinado número de medições (MARTUSCELLO et al., 2007).

Segundo Falconer (1981), com medições subsequentes de uma mesma característica em um indivíduo, a variância fenotípica pode ser parcelada, o que permite quantificar o ganho em precisão e, também, esclarecer a natureza da variação causada pelo ambiente. Por meio das estimativas dos coeficientes de repetibilidade, é possível determinar quantas medições devem ser realizadas em cada indivíduo, para que a seleção entre os genótipos seja feita com eficiência (CRUZ et al., 2012; PEREIRA et al., 2002). No entanto, de acordo com Cruz et al. (2012), caracteres de baixa repetibilidade, com forte variação causada pelo ambiente, geralmente necessitam de elevado número de medidas para predição de seu valor genotípico real. Quanto ao valor desejado de r , segundo Shimoya et al. (2002), valores acima de 0,80 são considerados satisfatórios quando o coeficiente de determinação é igual ou superior a esse valor. Para Resende (2002), repetibilidade entre 0,30 e 0,60 são consideradas medianas.

Viana et al. (2009) estimaram os coeficientes de repetibilidade e de determinação e o número mínimo de medições necessárias para prever o valor real, pela análise dos componentes principais, para características morfofisiológicas e produtivas em cinco cortes para ciclos curtos e longos. Estes autores observaram que para ciclo curto, o coeficiente de repetibilidade (r) variaram de 0,66 e 0,80. Já nos ciclos longos, foram observados os maiores valores de r . Constataram que os coeficientes de repetibilidade e de determinação para as características morfofisiológicas indicaram confiabilidade na estimativa do número de observações necessárias para prever o valor real das variáveis resposta, nos dois períodos de avaliação.

Cavalcante et al. (2012) determinaram os coeficientes de repetibilidade de caracteres morfofisiológicos em genótipos de capim-elefante a partir de dados obtidos durante seis ciclos de avaliação. Para isso utilizaram quatro métodos distintos, descritos por Cruz et al. (2012): modelo da análise de variância (ANOVA); componentes principais obtidos a partir de matrizes de covariância (CPCOV) ou de correlação (CPCOR); e análise estrutural, determinada com base no autovalor teórico da matriz de correlação (AECOR), para maior confiabilidade nas estimativas obtidas. Estes autores observaram que os coeficientes de repetibilidade foram de média à alta magnitude para todas as variáveis, o que indica que houve regularidade entre as medidas repetidas. A partir das estimativas dos r obtidas pelos métodos utilizados para cada variável e do coeficiente de determinação, constataram que as estimativas obtidas pela ANOVA foram sempre menores do que aquelas obtidas pelos demais métodos. As estimativas obtidas pelo método dos CPCOV foram maiores ou iguais à média geral, semelhantemente às obtidas pelos outros métodos. Esses resultados obtidos pelos autores foram concordantes com a literatura para o capim-elefante (SHIMOYA et al., 2002; DAHER et al., 2004).

Menezes et al. (2016) selecionaram genótipos de capim-elefante com base na produção de matéria seca, utilizando a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) e também estimaram a repetibilidade ao nível de parcela. Estes autores verificaram que para as quatro características avaliadas, os valores de r variaram 0,2239 a 0,5574.

2.5 Modelo de repetibilidade

Quando medidas são realizadas em um mesmo indivíduo é assumido que existe uma semelhança entre as medidas devido ao ambiente ou alguma circunstância durante a vida do indivíduo que o afetará permanentemente. Dessa maneira é assumido que existe uma covariância entre as medidas em um indivíduo devido efeitos não genéticos

(MRODE, 2014). Assim quando existe esse tipo de estrutura de dados é necessário levar em consideração essa covariância. Existem várias formas de modelar dados com medidas repetidas sendo o modelo mais simples o chamado modelo de repetibilidade (RESENDE, 2007). Para entender o modelo de repetibilidade de uma forma simples é necessário primeiro entender suas pressuposições. Essas pressuposições são necessárias, de forma geral, para deixar o modelo multivariado não estruturado mais parcimonioso. Assim, será apresentado o modelo multivariado não estruturado e em seguida as restrições/pressuposições do modelo de repetibilidade serão apresentadas.

Modelo não estruturado:

$$\mathbf{y} = \mu + \mathbf{X}_1\mathbf{b} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \varepsilon \quad (1)$$

$$\mathbf{g} \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_g)$$

$$\Sigma_g = \begin{bmatrix} \sigma_{g1}^2 & \sigma_{g12} & \dots & \sigma_{g1n} \\ \sigma_{g21} & \ddots & \dots & \sigma_{g2n} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{gn1} & \sigma_{gn2} & \dots & \sigma_{gn}^2 \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_e)$$

$$\Sigma_e = \begin{bmatrix} \sigma_{e1}^2 & \sigma_{e12} & \dots & \sigma_{e1n} \\ \sigma_{e21} & \ddots & \dots & \sigma_{e2n} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{en1} & \sigma_{en2} & \dots & \sigma_{en}^2 \end{bmatrix}$$

Modelo de simetria composta:

$$\mathbf{y} = \mu + \mathbf{X}_1\mathbf{b} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \varepsilon \quad (2)$$

Restrição 1 – correlação genética igual a unidade:

$$\mathbf{g} \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_g)$$

$$\Sigma_g = \sigma_g^2 \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \dots & \mathbf{1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{1} & \dots & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Restrição 2 – homogeneidade de variância e covariância entre as medidas, ou seja, modelo de simetria composta (CS):

$$\varepsilon \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_{ecs})$$

$$\Sigma_{ecs} = \begin{bmatrix} \sigma_e^2 & \sigma & \dots & \sigma \\ \sigma & \ddots & \dots & \sigma \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \sigma & \sigma & \dots & \sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

O modelo de repetibilidade.

Segundo MRODE (2014), o modelo de repetibilidade assume as seguintes pressuposições:

- 1) As medidas são realizadas em um mesmo individuo
- 2) A correlação genética para todos os pares de medida é igual a 1
- 3) Todas as medidas têm a variância homogênea
- 4) A correlação para todos os pares de medidas são homogêneas

$$y = \mu + X_1b + Z_1g + Z_2perm + \varepsilon \quad (3)$$

$$g \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_g)$$

$$\Sigma_g = \sigma_g^2 \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \dots & \mathbf{1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{1} & \dots & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

$$perm \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_{perm})$$

$$\Sigma_{perm} = \sigma_{perm}^2 \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \ddots & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon \sim NMV(\mathbf{0}, \Sigma_e)$$

$$\Sigma_e = \sigma_e^2 \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \ddots & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

O modelo 1 é denominado modelo não estruturado. Esse modelo é o modelo mais completo para análise desse tipo de dados. Porém, quando o número de medições é elevado, a convergência desse modelo se torna muito difícil. No modelo 2 existem duas restrições: a primeira dela é na matriz de variâncias genéticas e a segunda na matriz do resíduo. A primeira tem uma interpretação biológica muito importante que seria o mesmo que pressupor que a correlação entre as medições é igual a unidade, ou seja, que os genes que controlam o caráter é o mesmo para as diferentes medidas ou estão pertos, ligados. A segunda pressuposição, que a matriz dos resíduos, informa que a variância e a covariância entre as medidas é a mesma, ou seja, a matriz do modelo 1 que antes era não estruturada passa a ser uma matriz de simetria composta (CS). Isso torna o modelo mais parcimonioso e mais fácil de convergir. O modelos 2 e 3 são equivalentes. Veja que a estrutura da matriz de efeitos genéticos é a mesma. Assim a diferença entre esses modelos está na modelagem do resíduo. No modelo 2 o resíduo está modelado em σ_e^2 e σ no modelo 3 em σ_e^2 e σ_{perm}^2 . Porém, se a pressuposição de homogeneidade de variâncias e covariâncias entre

as medidas for atendida, o σ_{perm}^2 e σ representam o mesmo efeito, ou seja, no modelo 2 o resíduo é apresentado de uma forma implícita e no modelo 3 de uma forma explícita. O modelo 2 e 3 podem ser vistos como os modelos multi-ambientes analisados de forma implícita e explícita.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara P B, Bufarah G. 1983. Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas. São Paulo, Editora Nobel, 2. Ed. 150p.

Borges L S, de Aquino F C, Evangelista A F. 2016. Potencial do capim elefante para geração de bioenergia-revisão. Nutritive Revista Eletrônica, v. 13, n. 1, p. 4518-4523.

Cavalcante M de A L et al. 2012. Coeficiente de repetibilidade e parâmetros genéticos em capim-elefante. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília. v. 47. n. 4. p. 569-575.

Cecato U. 1993. Influência da frequência de resíduo, níveis e formas de aplicação do nitrogênio sobre a produção, a composição química e algumas características da rebrota do capim Aruana (*Panicum maximum Jacq.* cv. Aruana). Jaboticabal, SP, UNESP, 1993. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, 112p

Cruz C D, Regazzi A J, Carneiro P C S. 2012. Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, v.1, 514 p.

da Silva V Q R et al. 2014. Capacidade combinatória de capim elefante com base em caracteres morfoagronômicos. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v. 71, n.1, p. 63-70.

Daher R F et al. 2002. Genetic divergence among elephant grass assessed by RAPD markers in composit samples. Scientia Agricola, v. 59, n. 4, p. 623-627.

Daher R F et al. 2004. Estimativas de parâmetros genéticos e de coeficientes de repetibilidade de caracteres forrageiros em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Acta Scientiarum Agronomy, v.26, p. 483-490.

Davide L C et al. 2007. Variação cromossômica numérica em *Pennisetum*. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 2, p. 398-405.

Falconer D S. 1981. *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa: UFV, 279p.

Ferreira R P, Pereira A V. 2005. Melhoramento de forrageiras. In: BORÉM, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa, MG: UFV, 781-812 p.

Fontoura C F, Brandão L E, Gomes L L. 2015. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? *Journal of Cleaner Production*, Oxford, v. 96, p. 85–93.

Gani A, Naruse I. 2007. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. *Renewable Energy*, v. 32, n. 4, p. 649-661.

Ghosh S K. 2016. Biomass & Bio-waste Supply Chain Sustainability for Bioenergy and Bio-fuel Production. *Procedia Environmental Sciences*, v. 31, p. 31-39.

Jaradat AA. 2010. Genetic resources of energy crops: Biological systems to combat climate change. *Australian Journal of Crop Science*, v. 4, n. 5, p. 309-323.

Kayongo-Mole H, Thomas S W, Ullrey D E. 1974. Chemical composition and digestibility of tropical grasses. *Journal Agriculture of Puerto Rico*, v.15, n.2, p.185-200.

Laurent A, Pelzer E, Loyce C, Makowski D. 2015. Ranking yields of energy crops: a meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 46, p. 41-50.

Lima R S et al. 2011. RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genetic Molecular Research*, v. 10, p. 1304-1313.

Lima E S et al. 2010. Característica agrônômicas e nutritivas das principais cultivares de Capim-Elefante do Brasil. *Veterinária e Zootecnia*, v.17, n.3, p.324-334.

Lima E S et al. 2008. Composição e digestibilidade *in vitro* de genótipos de capim-elefante, aos 56 dias de rebrota. *Archivos de zootecnia*, v. 57, n. 218, p. 279-282.

Lira M de A, Cunha M V da, Pereira A V. 2010. Melhoramento genético do capim-elefante. In: Lira et al. (Ed.). *Capim-elefante: fundamentos e perspectivas*. Recife: IPA: UFRPE, p.31-48.

Long S P, Zhu X G, Naidu S L, Ort D R. 2006. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant Cell Environment*, v. 29, p. 315-330.

Lopes B A. 2004. O Capim-elefante. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 55p.

Machado A N et al. 1996. Efeito do espaçamento de plantio na produção e qualidade de forragem capim elefante cv. Três Rios. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.2, n.1, p.57-62.

Martel E, Richroch A, Sarr A. 1996. Assessment of genome organization among diploid species ($2n = 2x = 14$) belonging to primary and tertiary gene pools of pearl millet using fluorescent *in situ* hybridization with rDNA probes. *Genome*, v. 39, n. 4, p. 680-687.

Martins C E, Fonseca D M D. 1998. Manejo e fertilidade do solo em pastagens de capim-elefante. *Informe Agropecuário*, v.19, n. 192, p. 44-54.

Martuscello J A et al. 2007. Repetibilidade de caracteres agrônômicos em *Panicum maximum* Jacq. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n.6, p.1975-1981.

Mazzarella V N G, Seguchi H J M, Ferreira P H. 2015. Balanço energético do capim elefante x eucalipto. *Engineering Sciences*, v.3, n.1, p. 19-36.

McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass.

Bioresource Technology, v. 83, p. 37-46.

Menezes B R da S et al. 2016. Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) utilizando a metodologia REML/BLUP. Revista de Ciências Agrárias, v. 39, n. 3, p. 360-365.

Mohammed I Y et al. 2015. Comprehensive characterization of napier grass as a feedstock for thermochemical conversion. Energies, v. 8, n. 5, p. 3403-3417.

Monteiro I J G et al. 2011. Silagem de capim-elefante aditivada com produtos alternativos. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v. 33, n. 4, p. 347-352.

Naik S N, Goud V V, Rout P K, Dalai A K. 2010. Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 2, p. 578-597.

Mrode R A. 2014. Linear models for the prediction of animal breeding values. Ed. Cabi, 3 ed. 360p.

Nascimento Junior D. 1981. Informações sobre plantas forrageiras. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária. 56p.

Oliveira E S et al. 2012. Potencial de germinação de estacas e avaliação de características morfoagronômicas em seis cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) para fins energéticos em Campos dos Goytacazes, RJ. Natureza on line, v.10, n. 1, p. 39-45.

Paciullo D S C et al. 2008. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 7, p. 917-923.

Paterlini E M et al. 2013. Evaluation of elephant grass for energy use. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 4, n. 2, p. 119-125.

Pegoraro R F et al. 2009. Water and nitrogen management in the cultivation of elephant grass. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 2, p. 461-467.

Pereira A V et al. 2001. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass L L(ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso. p.549-602.

Pereira A V et al. 2002. Influência da estabilização de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sobre a estimativa da repetibilidade de características forrageiras. *Ciência e Agrotecnologia*, v.26, p.762-767.

Pereira A V, Lédo F J S. 2008. Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. In. Resende, R. M. S., Vale, C. B. e Jank, L. (Eds.). Melhoramento de forrageiras tropicais, p.89-116.

Pereira J A, Morais O P, Breseghello F. 2008. Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz-vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1135-1142.

Porter J R, Kirsch M M N, Streibig J, Felby C. 2007. Choosing crops as energy feedstocks. *Nature Biotechnology*, n. 25, p. 716-717.

Prochnow A. et al. 2009. Bioenergy from Permanent Grassland - A Review: 2. Combustion. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 21, p. 4945-4954.

Queiroz Filho J D, Silva D D, Nascimento I D. 2000. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia.*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 69-74.

Ra K, Shiotsu F, Abe J, Morita S. 2012. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v. 37, p. 330–334.

Resende M D V. 2002. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 975p.

Resende M D V. 2007. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Embrapa Florestas, Colombo, 561p.

Sales E C J et al. 2014. Morphogenesis and productivity of Pioneiro elephant grass under different residual heights and light interceptions. Acta Science, Maringá. v.36, n.2, p. 137-143.

Saraiva V M, König A. 2013. Produtividade do capim-elefante roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. Revista Hólos, Natal, v. 1, p. 28-46.

Shimoya A et al. 2002. Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim-elefante. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.971-980.

Strezov V, Evans T J, Hayman C. 2008. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. Bioresource Technology, v. 99, p. 8394-8399.

Techio V H et al. 2008. Viabilidade do grão de pólen de acessos de capim-elefante, milheto. Acta Scientiarum. Biological Sciences, 28(1), 7-12.

VIANA B L et al. 2010. Repetibilidade e respostas de características morfofisiológicas e produtivas de capim-elefante de porte baixo sob pastejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 12, p. 1731-1738.

VILELA H. Série gramíneas tropicais – gênero *Pennisetum* (*Pennisetum purpureum*). 2009. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_pennisetum_purpureum.htm> Acesso em: 13 mar. 2018.

Virguez O G. 1966. Ensayo comparativo de 13 clones del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). In: International Grassland Congress, 9., 1965, São Paulo. Proceedings... São Paulo: Secretaria de Agricultura de São Paulo /Departamento de Produção Animal, v.1, p.929-038.

Wijitphan S, Loruilai P, Arkaseang C. 2009. Effect of cutting heights on productivity and quality of King Napier grass (*Pennisetum purpureum* cv. King grass) under irrigation. Pakistan Journal of Nutrition, v.8, n.8, p.1244-1250.

Xavier D F et al. 1993. Poder germinativo de sementes de capim-elefante. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 22, n. 4, p. 565-571.

Zeng-Hui L. Hong-Bo S. 2010. Main developments and trends of international energy plants. Renewable and Sustentable Energy Reviews, v. 14, n. 1, p. 530–534.

4. ARTIGO CIENTÍFICO:

DIALLEL MODEL WITH REPEATABILITY INFORMATION

ABSTRACT

Elephant grass is an allogamous perennial crop with asexual reproduction. With these characteristics, the plant breeders have an alternative to develop hybrids to explore the heterosis. Thus, the main difficulty to develop hybrids is the choice of the parents to be

considered in diallel crossings schemes. Also, as a perennial crop, the data evaluation obtained in several cuttings increase the complexity of statistical analyses. In this context, we proposed a diallelic analysis based on mixed models with repeatability information in order to identify parents and hybrids, as well as the optimal number of cuttings. It was performed a complete diallel crossing of 11 parents, being the data obtained from five cuttings for morphological traits and two cuttings for nutritive value traits. The diallel model with repeatability information allowed estimating the genetic effect that could be estimated in diallel analysis and to infer about the ideal number of cuttings and genotype x cutting interaction. It was observed that the specific combining ability (SCA) has higher importance for the morphoagronomic traits; whereas the general combining ability (GCA) has higher importance for traits related to the nutritive value. Furthermore, it was detected that a number of five cuttings for the morphoagronomic traits was sufficient to a R^2 of 80%; however, it shall be of 10 to a R^2 of 90%. In summary, the proposed model showed to be an alternative to plant breeders needs to analyze a diallel with repeated measures.

KEYWORDS: *Cenchrus purpureus*; forage, mixed model, combining ability.

INTRODUCTION

Elephant grass [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Syn. *Pennisetum purpureum* Schum.] is a perennial forage from Africa, being an important and widespread grasses in all of the tropical and subtropical regions of the world (PEREIRA et al, 2017). In Brazil, it adapts very well to the climate and to the soil conditions, being planted almost throughout the entire territory (SARAIVA and KONIG, 2013). This forage has high efficiency in utilization of the solar radiation, high efficiency in the water use, high concentration of nitrogen, low fiber content and high digestibility, being used in the dairy and beef cattle feeding (RENGSIRIKUL et al., 2013). In addition, it has been used for energy purposes, by means of genotypes with distinct characteristics from those traditionally used as forage plant (ZENG-HUI and HONG-BO, 2010; RA et al., 2012; FONTOURA et al., 2015; ROCHA et al., 2017).

Breeding programs of allogamous species, such as elephant grass, aim the development of hybrids with high heterosis. However, it becomes necessary to define criteria in the choice of parents, since the selection of the superior cultivar depends on the genetic diversity (PEREIRA et al., 2001) and the complementarity of the parents. As an

important tool to generate and study hybrids, the diallel crossings allows to study the combining ability of the parents and to detect crossings that optimize the heterotic effect. According to Cruz, Regazzi and Carneiro (2012), with the diallelic analysis some genetic parameters can be estimated to assist in the choice of the most efficient selection method, and provides the information to select the best parents for the hybridization. However, for elephant grass, it exists few information regarding the general and specific combining ability (DA SILVA et al., 2014, DA SILVA et al. 2014a) and most of these works were performed with a few parents and cuttings, and using partial diallelic crossings.

An alternative for the analysis of a dataset with various cuttings is the repeatability model or also known as the compound symmetry model. Repeatability model allows estimating the capacity of the organisms repeat the expression of character throughout time periods, in the course of their lives (RESENDE, 2002). High values of the repeatability coefficient (r), for any traits, indicate that it is possible to predict a real value of the individuals based on a certain number of measurements (MARTUSCELLO et al., 2007). Repeatability models are commonly used in perennial crops like the eucalyptus (Pinto et al., 2014) and forage grasses, including elephant grass (DAHER et al., 2004, VIANA et al., 2010, CAVALCANTE et al., 2012). To the best of our knowledge, repeatability model combined with the diallelic analysis is not report in the literature.

In this way, we propose combine the diallelic analysis with repeatability model using the mixed model methodology. Also, we will show an application of this propose in elephant grass dataset to estimate the combining ability and ideal number of cuttings for nutritive traits and for the morphoagronomic traits in elephant grass breeding program.

MATERIAL AND METHODS

The work was conducted in Embrapa Dairy Cattle located in Coronel Pacheco, Minas Gerais state, Brazil during the years of 2013 and 2014. Eleven parents were selected, four cultivar (Pioneiro, BRS Kurumi, BRS Canará e BRS Capiaçú) three clones (CNPGL 91-06-3, CNPGL 96-27-3 e CNPGL 92-38-2) originating from the breeding program of Embrapa; besides the four accessions from the Elephant grass Active Germplasm Bank of Embrapa (BAGCE 21, BAGCE 30, BAGCE 37 and BAGCE 38).

Hybridization was performed by controlled crossings among the 11 parents under scheme of complete diallel 11 x 11 without parents and reciprocals. Seeds obtained were planted in polystyrene tray with 128 cells filled with forest substrate. Seedlings were transplanted to the field, 21 days after the emergency. For assess the 55 hybrids obtained

from the complete diallel, it was performed an experiment on the complete randomized block design with three replications. Each plot consisted of one row of 5 m, with spacing between plants of 0.5 m and 1.5 m between plots. The conditions of cultivation and cutting followed the recommendations for the grass field of elephant grass (LIRA et al., 2010). Five cuttings were performed, three in the rainy period and two in the dry period, in which the morphoagronomic traits and the nutritive value of the forage were evaluated, according to what is described in Table 1. Phenotypic vigor (VIG) was obtained by means of scale of notes ranging from one to five, five being high vigor and one low vigor; mean height (HGT) obtained from arithmetic mean of the height of three plants randomly, among the useful area of each plot, measured from the soil level until the curve of the last complete expanded leave, measured in m; green mass weight (GM) which was quantified by the fresh mass production (Mg ha^{-1}) and dry mass production (DM) quantified after the drying of fresh biomass harvest in dryer until the stabilization of the weight (Mg ha^{-1}), in which was obtained the dry mass percentage. For the evaluation of the nutritive value, two cuttings were sampled, one in each season. After the plot cuttings, random sample were taken and were dried at 56°C under air circulation by 72h. After the drying, the samples were milled (1 mm) in Willey mill type and evaluated at the Food Analysis Laboratory. The *in vitro* digestibility of dry mass (IVDDM) was obtained according to the methodology used by Tilley and Terry (1963); the crude protein percentage (CP), lignin percentage (LIG) and the neutral detergent fiber (NDF) were obtained according to the methodology proposed by Goering and Van Soest (1970).

Table 1. Description of the cuttings for nutritive value and morphoagronomic traits, in the evaluation of elephant grass for the forage production.

Season	Morphoagronomic				Nutritive Value			
	VIG	HGT	GM	DM	CP	IVDDM	NDF	LIG
C1- Rainy period (04/04/2013)	+	+	+	+	-	-	-	-
C2- Dry period (7/1/2013)	+	+	+	+	+	+	+	+
C3- Dry period (11/5/2013)	+	+	+	+	-	-	-	-
C4- Rainy period (1/7/2014)	+	+	+	+	+	+	+	+
C5- Rainy period (3/24/2014)	+	+	+	+	-	-	-	-

+ Evaluation; – Not evaluation. VIG (Phenotypic vigor), HGT (Height), GM (Green mass production), DM (Dry mass production), IVDDM (in vitro digestibility of dry mass), NDF (neutral detergent fiber), CP (crude protein) and LIG (lignin)

The analysis for each cutting was performed using the following model:

$$\mathbf{y} = \mu + \mathbf{X}_1\mathbf{b} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \mathbf{Z}_2\mathbf{s} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

Where: \mathbf{y} is the vector of the phenotypic observations; μ is the constant; \mathbf{b} is the vector of fixed effect of blocks; \mathbf{g} is the vector of random effects of the general combining ability (GCA), with $CGC \sim MVN(0, \sigma_g^2 I_g)$; \mathbf{s} is the vector of random effects of the specific combining ability (SCA), with $SCA \sim MVN(0, \sigma_s^2 I_s)$; $\boldsymbol{\varepsilon}$ is the vector of the random effects of residues, with $e \sim MVN(0, \sigma_e^2 I_e)$; \mathbf{X}_1 , \mathbf{Z}_1 e \mathbf{Z}_2 , represent the incidence matrix for the respective effects.

It was also conduct the joint analysis of the cuttings, assuming the following model:

$$\mathbf{y} = \mu + \mathbf{X}_1\mathbf{c} + \mathbf{X}_2\mathbf{b} + \mathbf{X}_3\mathbf{cxb} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \mathbf{Z}_2\mathbf{s} + \mathbf{Z}_3\mathbf{gxc} + \mathbf{Z}_4\mathbf{sxc} + \mathbf{Z}_5\mathbf{perm} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2)$$

Where: \mathbf{y} is the vector of phenotypic observations; μ is the constant; \mathbf{c} is the vector of fixed effects of cutting; \mathbf{b} is the vector of fixed effects of blocks; \mathbf{cxb} is the vector of fixed effects of the interaction cutting x blocks; \mathbf{g} is the vector of random effects of the general combining ability (GCA), with $g \sim MVN(0, \sigma_g^2 I_g)$; \mathbf{s} is the vector of random effects specific combining ability (SCA), with $s \sim MVN(0, \sigma_s^2 I_s)$; \mathbf{gxc} is the vector of random effects of the interaction between general combining ability and cuttings, with $gxc \sim MVN(0, \sigma_{gxc}^2 I_{gxc})$; \mathbf{sxc} is the vector of random effects of the interaction between specific combining ability and cuttings, with $sxc \sim MVN(0, \sigma_{sxc}^2 I_{sxc})$; \mathbf{perm} is the vector of random effects of the permanent effect, with $perm \sim MVN(0, \sigma_{perm}^2 I_{perm})$ $\boldsymbol{\varepsilon}$ is the vector of random effects of residuals, with $\boldsymbol{\varepsilon} \sim MVN(0, \oplus_{i=1}^c D_{e_i} \otimes I_{n_i})$; \mathbf{D}_e is a $c \times c$ diagonal matrix VCOV matrix, in which each cutting (c_i) has a specific and independent variance component for the effects of replications within sets and for the residuals, respectively. \mathbf{X}_1 , \mathbf{X}_2 , \mathbf{X}_3 , \mathbf{Z}_1 , \mathbf{Z}_2 , \mathbf{Z}_3 , \mathbf{Z}_4 e \mathbf{Z}_5 represent the matrices of incidence for the respective effects. This model, from the best of our knowledge, allowed estimate the general and specific combining ability besides of estimate the repeatability, being for the first time used in plant breeding.

The parameters of repeatability and the ideal cuttings number were also estimated from the analysis. The repeatability (r) was estimated by the equation:

$$r = \frac{2\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_{perm}^2}{\hat{\sigma}_{phenotypic}^2}$$

Where $\hat{\sigma}_{phenotypic}^2$ is the phenotypic variance at individual level, $\hat{\sigma}_g^2$ is the variance of the general combining ability, $\hat{\sigma}_s^2$ is the variance of the specific combining

ability and $\hat{\sigma}_{perm}^2$ is the variance permanent. The $\hat{\sigma}_{phenotypic}^2$ was estimated by means of the estimator suggested by Holland et al. (2003), where:

$$\hat{\sigma}_{phenotypic}^2 = 2x\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_{perm}^2 + 2x\hat{\sigma}_{gxc}^2 + \hat{\sigma}_{sxc}^2 + \frac{\sum_{i=1}^c \hat{\sigma}_{ei}^2}{\sum_{i=1}^c C_i}$$

Where $\hat{\sigma}_{gxc}^2$ is the variance of interaction GCA x cuttings, $\hat{\sigma}_{sxc}^2$ is the variance of interaction SCA x cuttings, $\hat{\sigma}_{ei}^2$ is the residual variance of cutting i and nc is the number of cuttings in which the characteristic was evaluated.

The ideal number of cuttings (n_0) was estimated for the coefficient of determination (R^2) of 0.5; 0.6; 0.7; 0.8 and 0.9.

$$n_0 = \frac{R^2(1-r)}{(1-R^2)r}$$

Where R^2 is the coefficient of determination and r is the individual repeatability.

All analysis were performed by the Asreml-R program (BUTLER et al, 2009) and the routines are available in the supporting information I.

RESULTS

The diallelic analysis were primarily performed for each cutting (Tables 2 e 3). In the diallelic analysis for the morphoagronomic traits, it is possible to observe that the GCA was significant for VIG in cuttings 2 and 3, for GM in the cutting 2, for DM in the cutting 3 and in all cuttings for HGT, except for the cutting 5. The SCA was significant for all morphoagronomic characteristic, except for the VIG in the cuttings 1 and for HGT in the cuttings 1, 3 and 5 (Table 2). Since the SCA was significant for all the traits and for almost all the cuttings and the GCA was significant for only few cuttings, it suggests that the prevalence of SCA for the morphoagronomic traits occurs.

Table 2. Variance components for individual diallelic analysis of the five cuttings (C1 to C5) for the morphoagronomic traits, in the evaluation of elephant grass for the forage production.

Variance components	VIG					HGT				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
GCA	0.016	0.0766*	0.0447*	0.0069	0.00001	0.0024*	0.0047*	0.0062*	0.001	0.00001
SCA	0.0234	0.0547*	0.0655	0.0993*	0.0442	0.0039	0.0032*	0.0029	0.003*	0.0029
Error	0.2167	0.2559	0.4178	0.2700	0.2559	0.0237	0.0112	0.0190	0.0134	0.0187
Mean	3.62	3.05	3.56	3.72	3.05	1.61	1.61	1.70	1.80	1.61
Variance components	GM					DM				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5

GCA	6.9664	6.7131*	3.2479	0.0000	0.0000	0.00001	0.0661	0.2383	0.00001	0.00001
SCA	24.2166*	15.4757*	23.6378*	38.7416*	32.6704*	0.5674*	0.6461*	0.9595*	1.2355*	0.7539*
Error	118.6615	26.7496	46.2391	91.8536	65.5643	2.3162	0.7744	1.7153	2.4012	1.8876
Mean	57.92	30.49	38.70	52.45	44.08	8.22	5.18	6.72	9.06	7.55

*Significant by the likelihood ratio test at the level of 5%

VIG (Phenotypic vigor), HGT (Height), GM (Green mass production) and DM (Dry mass production)

In the diallelic analysis for the traits related to the nutritive value, the GCA was significant for all traits, while the SCA was significant only for NDF in the cutting 2 (Table 3). It was observed that it had a predominance of the GCA for the traits related to the nutritive value, being only one characteristic (NDF) significant for SCA.

Table 3. Variance components for individual diallelic analysis of the cuttings (C2 and C4) for the traits related to the nutritive value, in the evaluation of elephant grass for the forage production.

Variance components	CP		IVDDM		NDF		LIG	
	C2	C4	C2	C4	C2	C4	C2	C4
GCA	0.1076*	0.0222	0.5754**	0.6288*	0.6192**	0.3226*	0.0267*	0.0288*
SCA	0.1296	0.0095	0.9480	0.00001	0.00001	0.4108	0.0034	0.0466
Error	0.8709	0.4767	7.6472	8.3171	3.0223	2.3692	0.3415	0.3843
Mean	7.90	5.48	55.54	52.92	71.71	72.80	5.41	5.34

*Significant by the likelihood ratio test at the level of 5%

IVDDM (in vitro digestibility of dry mass), NDF (neutral detergent fiber), CP (crude protein) and LIG (lignin)

For confirming the predominance of the SCA in the morphoagronomic traits and of the GCA for the nutritive value traits, as well as for obtaining information of repeatability, it was performed the joint diallelic analysis of the cuttings using the repeatability model.

In the joint analysis for the morphoagronomic traits (Table 4), it is possible to observe that the GCA for HGT and VIG were significant, as well as the SCA for DM.

Table 4. Variance components for joint diallelic analysis for the morphoagronomic traits in the evaluation of the elephant grass for forage production.

Variance Comp.	VIG	HGT	GM	DM
GCA	0.015	0.002*	1.173	0.0001
SCA	0.037	0.003*	21.39*	0.961*
Permanent	0.138*	0.008*	29.18*	0.550*
GCA x Cutting	0.007	0.0004*	0.765	0.029
SCA x Cutting	0.038*	0.001*	7.914*	0.223*
Cutting error 1	0.196	0.012	70.44	1.637
Cutting error 2	0.115	0.009	18.67	0.448
Cutting error 3	0.195	0.009	17.17	1.058
Cutting error 4	0.108	0.004	37.06	1.473
Cutting error 5	0.154	0.011	30.51	1.203

*Significant by the likelihood ratio test at the level of 5%

VIG (phenotypic vigor), HGT (Height), GM (Green mass production) and DM (Dry mass production)

In the joint analysis for the traits of nutritive value (Table 5), it is possible to observe that the GCA was significant for IVDDM, NDF and CP, while the SCA was only significant for NDF. As well as the individual analysis, it can be detected the predominance of the GCA for the traits of nutritive value.

Table 5. Joint diallelic analysis for the traits related to the nutritive value, in the evaluation of elephant grass for forage production.

	IVDDM	NDF	CP	LIG
GCA	0.330	0.347*	0.037*	0.013
SCA	0.248	0.379*	0.042	0.019
Permanent	0.174	0.0001	0.0001	0.008
GCA x Cutting	0.391	0.187*	0.009	0.011
SCA x Cutting	0.625	0.0001	0.079	0.034
Cutting error 2	7.594	2.798	0.881	0.291
Cutting error 4	7.402	2.331	0.365	0.363

*Significant by the likelihood ratio test at the level of 5%

IVDDM (in vitro digestibility of dry mass), NDF (neutral detergent fiber), CP (crude protein) and LIG (lignin)

The interaction GCA x Cuttings was significant for HGT and VIG, while the interaction SCA x Cuttings was significant for all the morphoagronomic traits (Table 4). For the traits related to the nutritive value, the interaction GCA x Cuttings was significant for IVDDM and NDF, while none characteristic was significant for the interaction SCA x Cuttings (Table 5), which was expected by non-significant results for the SCA in the individual analysis for each cutting (Table 2). It was observed, from the results showed in Tables 4 and 5 that the effect of the permanent environment was significant for all the morphoagronomic traits and was non-significant for all the traits of nutritive value.

Average effects of the GCA (g_i) can be observed in Table 6. These estimates were performed only for the traits in which the GCA was significant by the likelihood ratio test at the probability level of 5% (Tables 4 e 5).

Table 6. Estimates of the average effects of the general combining ability (g_i) of the 11 parents of elephant grass for morphoagronomic traits, in 55 hybrid combinations resulting from complete diallel crossings, in the evaluation of elephant grass for forage production.

Parents	VIG	HGT	NDF	CP
BAGCE 21	-0.1145	-0.0426	-0.0768	0.0934
BAGCE 30	-0.0964	-0.0171	0.3005	0.1113
BAGCE 37	0.0257	0.0296	0.1013	-0.1154
BAGCE 38	0.0348	-0.0013	0.0844	-0.0672
PioneiroPioneiro	-0.1206	-0.0174	0.2236	-0.0869
CNPGL 91-06-3	0.0842	0.0458	0.1645	-0.1442
BRS Kurumi	-0.1094	-0.0772	-0.9749	0.3327

BRS Canará	0.0499	0.0108	0.9253	-0.2382
BRS Capiaçú	0.0781	0.0214	0.1149	0.0585
CNPGL 96-27-3	0.122	0.0485	-0.6748	0.0638
CNPGL 92-38-2	0.0462	-0.0006	-0.188	-0.0072

VIG (Phenotypic vigor). HGT (Height). NDF (neutral detergent fiber) and CP (crude protein)

It can be observed that the parents that obtained higher positive values of g_i for HGT and VIG were CNPGL 91-06-3 and CNPGL 96-27-3 while only two parents. CNPGL 92-38-2 and BAGCE 38 obtained negative values for HGT and positive for VIG (Table 6).

The estimates of the average effects of the SCA (S_{ij}) can be observed in the Table 7. As well as the GCA effects it was depicted the estimates only for the traits that were statistically different by the likelihood ratio test in the joint analysis (Tables 4 and 5) at the probability level of 5%.

Table 7. Estimates of the average effects of the specific combining ability (S_{ij}), in 55 hybrid combinations resulting from the diallel crossings between 11 parents of elephant grass, in the evaluation for forage production.

Hybrids	HGT	GM	DM	NDF
BAGCE 21 x BAGCE 30	-0.0107	-3.4962	-0.6266	0.2581
BAGCE 21 x BAGCE 37	0.0419	0.6584	0.0172	-0.0383
BAGCE 21 x BAGCE 38	0.0231	1.431	0.3836	0.0211
BAGCE 21 x BRS Canará	0.0322	0.7638	-0.0575	0.1199
BAGCE 21 x BRS Capiaçú	-0.0077	-0.699	-0.3361	-0.2562
BAGCE 21 x BRS Kurumi	-0.1564	-9.3879	-2.0036	-0.3002
BAGCE 21 x Pioneiro	0.0003	-2.0408	-0.1938	0.6159
BAGCE 21 x CNPGL 91-06-3	0.0261	2.7867	0.6322	0.0799
BAGCE 21 x CNPGL 92-38-2	0.0165	1.1456	0.3058	-0.6641
BAGCE 21 x CNPGL 96-27-3	-0.0234	-0.4881	-0.1846	0.0798
BAGCE 30 x BAGCE 37	0.0264	1.1008	0.425	0.3878
BAGCE 30 x BAGCE 38	0.0145	5.5611	1.02	0.0628
BAGCE 30 x BRS Canará	-0.0327	-3.6157	-0.393	-0.3202
BAGCE 30 x BRS Capiaçú	-0.0081	2.2565	0.1968	0.1883
BAGCE 30 x BRS Kurumi	0.0081	0.3904	0.1506	0.0313
BAGCE 30 x Pioneiro	-0.0134	-6.2217	-1.2008	-0.8799
BAGCE 30 x CNPGL 91-06-3	0.0181	4.2575	1.0628	0.5574
BAGCE 30 x CNPGL 92-38-2	-0.0046	-3.2648	-0.7496	0.0853
BAGCE 30 x CNPGL 96-27-3	-0.021	-3.2384	-0.7124	-0.0427
BAGCE 37 x BAGCE 38	0.0083	0.1538	0.0664	0.1827
BAGCE 37 x BRS Canará	0.0183	3.1035	0.7003	0.1287
BAGCE 37 x BRS Capiaçú	0.0093	3.5737	0.7892	0.3781
BAGCE 37 x BRS Kurumi	-0.0282	1.3495	-0.0677	-0.7119
BAGCE 37 x Pioneiro	-0.0147	-2.6841	-0.3198	-0.4118
BAGCE 37 x CNPGL 91-06-3	-0.0478	-7.255	-1.4781	0.0067

BAGCE 37 x CNPGL 92-38-2	0.0268	4.7669	0.8949	0.0137
BAGCE 37 x CNPGL 96-27-3	0.0011	0.8824	0.381	0.1749
BAGCE 38 x BRS Canará	-0.0202	-2.334	-0.3661	0.2429
BAGCE 38 x BRS Capiaçú	-0.0421	-6.2637	-1.1539	-0.5498
BAGCE 38 x BRS Kurumi	-0.0026	2.7493	0.6441	0.2028
BAGCE 38 x Pioneiro	-0.0012	-0.7659	0.1451	0.6858
BAGCE 38 x CNPGL 91-06-3	-0.0177	-4.5935	-0.6837	0.2239
BAGCE 38 x CNPGL 92-38-2	0.0075	3.9779	0.4361	-0.2001
BAGCE 38 x CNPGL 96-27-3	0.0287	3.8369	0.6266	-0.7794
BAGCE 21 x BRS Capiaçú	-0.0102	-0.3358	-0.1252	-0.0569
BRS Canará x CNPGL 92-38-2	-0.0108	-1.2401	-0.2945	0.8872
BRS Canará x CNPGL 96-27-3	0.0137	1.1602	0.3368	0.0552
BRS Capiaçú x CNPGL 92-38-2	-0.0121	-1.8077	-0.6705	0.4474
BRS Capiaçú x CNPGL 96-27-3	0.0053	-1.2975	-0.3891	-0.519
BRS Kurumi x BRS Canará	0.0541	3.0776	0.4532	-0.236
BRS Kurumi x BRS Capiaçú	0.0613	1.3299	0.0349	0.2558
BRS Kurumi x CNPGL 92-38-2	-0.0355	-4.1525	-0.8189	0.3923
BRS Kurumi x CNPGL 96-27-3	0.0131	1.8607	0.1242	-0.2273
CNPGL 91-06-3 x BRS Canará	-0.0164	-2.0349	-0.0725	0.2551
CNPGL 91-06-3 x BRS Capiaçú	0.0042	-0.7403	-0.2214	0.0198
CNPGL 91-06-3 x BRS Kurumi	0.0023	5.4612	0.7452	-0.4832
CNPGL 91-06-3 x CNPGL 92-38-2	0.0121	3.4197	0.7498	-0.4846
CNPGL 91-06-3 x CNPGL 96-27-3	0.0472	6.9462	1.4864	-0.0325
CNPGL 96-27-3 x CNPGL 92-38-2	0.0128	5.7701	0.9095	-0.0801
Pioneiro x BRS Canará	-0.0129	-3.2831	-0.6925	-0.0654
Pioneiro x BRS Capiaçú	0.0297	0.7903	0.3251	0.2181
Pioneiro x BRS Kurumi	-0.0228	-3.8081	-0.7354	0.0118
Pioneiro x CNPGL 91-06-3	0.0351	4.33	1.0091	0.0369
Pioneiro x CNPGL 92-38-2	-0.0134	-1.3619	-0.2995	-0.6017
Pioneiro x CNPGL 96-27-3	-0.0107	-2.4778	-0.2058	0.6343

HGT (Height). GM (Grass mass production). DM (Dry mass production) and NDF (neutral detergent fiber)

It was possible to observe that from the 55 hybrids combination evaluated, 29 presented S_{ij} positive for HGT, 26 of them were also positive for DM (Table 7). Thus, of the 55 combination, 26 presented negative values (Table 7), in which, only three were positive for DM (BAGCE 21 X Pioneiro; BAGCE 38 X Pioneiro; BAGCE 30 X BRS Capiaçú). These crossings would be those that would have segregation for dwarf genes allied to the segregation for DM.

Ideal number of cuttings was estimated according to five levels (0.5 to 0.9) of coefficient of determination (R^2). In Figure 1 are depicted the individual repeatability (r for each trait (DM, GM, HGT and VIG) and the number of cuttings as y axis for each value of coefficient of determination (R^2) as x axis. It is worth mentioning that were

calculated only the repeatability for traits whereby the permanent effect of environment was significant, in other words, only for the morphoagronomic traits. In Figure 1, it is also possible to observe that for values of R^2 equal to 0.8 the number of cuttings performed are sufficient for all traits. However, if the researcher opts for a R^2 value equal to 0.9 should be adopted twice the number of cuttings.

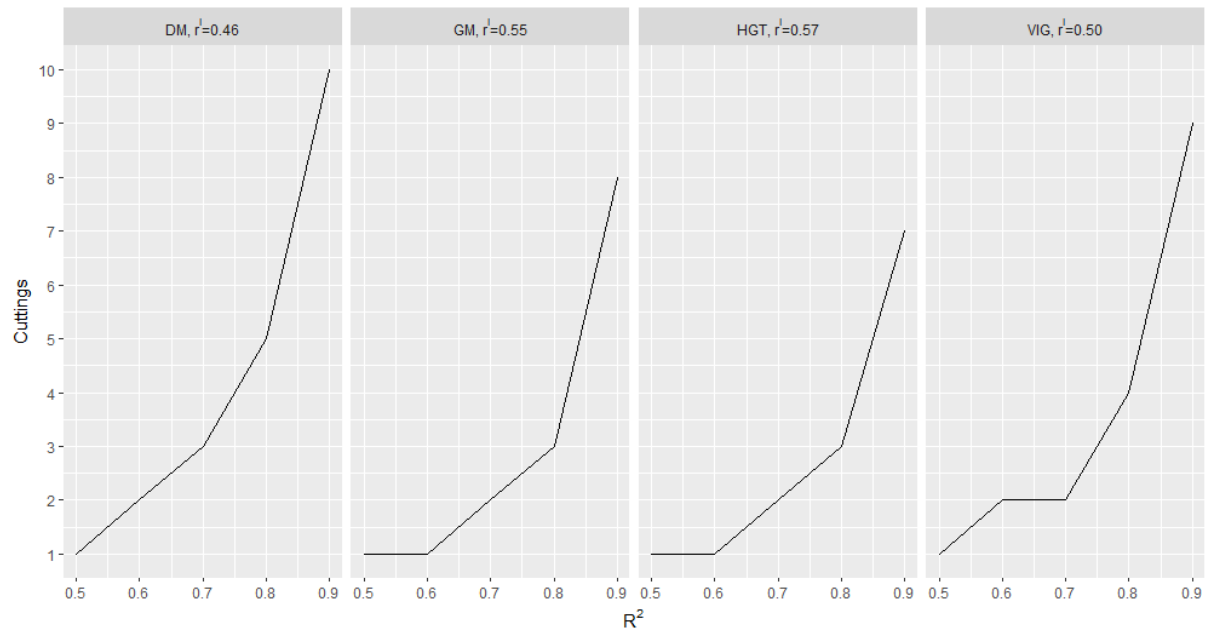


Figure 1. Estimates of the repeatability (r) and of the number of cuttings (Cuttings) for the coefficient of determination (R^2) varying from 0.5 to 0.9 for morphoagronomic traits (VIG, HGT, GM, DM) in 55 hybrid combinations resulting from the diallel crossings between 11 parents of elephant grass.

DISCUSSION

Elephant grass is an allogamous specie with vegetative propagation. Thus, throughout the evolutionary process, the morphoagronomic traits are directly under natural selection leading to changes in the allelic frequency and the greater discrepancy for these characters. In this way, one can expect a greater importance of SCA for morphoagronomic character, as well as observed in the present work (Table 2). For traits related to the nutritive value, it is not simple the natural selection operates on them, which may explain the result mostly not significant for SCA (Table 3).

In the joint analysis of the cuttings as well as in the individual analysis it was possible to observe that there was a predominance in the SCA for the ones morphoagronomic value (Tables 4 and 5). Similar results were reported by Da Silva et al. (2014 and 2014a), using partial diallel analyzed by the methodology proposed by Griffing

(1956). The authors observed that the SCA was significant for the majority of the evaluated characteristics related to morphoagronomic traits. For the characteristic related to the nutritive value the GCA had more importance than SCA. It is relevant to comment that the SCA emphasizes the importance of nonadditive interactions resulting from the gene complementation between the parents, enabling the exploitation of the heterosis (BASTOS et al., 2003). Thus, we can observe that for the morphoagronomic traits of the elephant grass, the hybridization becomes important.

In the present study, it was possible to observe that the significant interaction SCA x Cuttings was significant for almost all of the morphoagronomic traits (Table 4) and the interaction GCA x Cuttings was significant for the traits HGT, VIG and NDF. It should be pointed out that the number of cuttings related to the nutritive value were only two, which affects the estimation of variance components. As already commented, the crop of elephant grass is perennial, where the farmers conduct several cuttings. Thereby, it is important that the genotypes have high performance and have stability throughout of the cuttings. Thus, for the related traits to the nutritive value, the absence of interaction is a favorable information to the breeders, once there is no difference of the hybrid in the different cuttings. On the other hand, for the morphoagronomic traits, where the interaction occurs, there is the difficulty of selection and recommendation of new genotypes to be used for several cuttings performed by the farmers. It is noteworthy that the interaction can be mitigated as the adjustment of forage management, for example, irrigation and cuttings scheduling, so that the interaction among the genotypes and the environment would be positive for enhance in forage quality and yield (COSTA et al., 2004).

The information of the diallel crossings can be used in two ways for strategy guideline of the breeding program. First would be the identification of the hybrids with high performance to be cloned and then tested for possible recommendation as a new cultivar. The second is the identification of the best parents for future crossings aiming the formation of segregating population in order to be used as source of new genotypes. In this respect, the desirable parent would be the one that have high g_i and high s_{ij} . Thus, the crossings involving parental with high g_i has a higher probability of obtain genotypes with high performance and high S_{ij} has a higher potential of diversity at the crossings (CRUZ, REGAZZI and CARNEIRO, 2004; RAMALHO et al., 2012).

The effects $g_i s$ give an information about the potential of the parental to generate favorable combinations due to the combination of additive effect of alleles. The higher these estimates, positive or negative, certain parental will be considered superior or

inferior to the other parental in the diallel, and if it is near to zero, their behavior does not differ from the overall average of the crossings (CRUZ, REGAZZI and CARNEIRO, 2004). In the Tables 6 and 7 it is possible to observe that the choice of parents with high values of g_i of the same signal and high S_{ij} favorable to all the traits it is not a simple task when several traits are considered. For the related traits to the nutritive value, the parents BAGCE 21, BRS Kurumi and CNPGL 96-27-3 stand out, since they have positive values for CP and negative for NDF (Table 6). For animal feed, its desirable the increment of protein and digestibility, associated to a lower percentage of fiber. However, in the combination with DM. it was not possible to find parents that have g_i positive for CP (Tables 6 and 7). This scenario indicates that the correlation between these traits tends to be negative. By the phenotypic correlation between the mean for the evaluate traits, it is observed that the correlation between DM and CP are negative (Supporting information II). This indicates that a one of the alternatives for obtain gains in the simultaneously traits would be by the use of selection index (ROCHA et al., 2017).

From the estimated SCA (S_{ij}) effects, 25 crossings were observed with high estimates for HGT and positive values for DM (Table 7). This result combined to the information of g_i 's, the breeders could select the best to generate segregating population aiming the use of elephant grass in cutting schedule, which is desirable phenotypes higher. However, for the use of the forage under pasture the lower height is desired.

The statistical model adopted allowed the estimation of all the components of one diallelic analysis such as GCA, SCA and their interactions with the cuttings. Moreover, it was possible to estimate the permanent effect of environment. Permanent effect was significant for the morphoagronomic traits and it affect the heritability estimations and the number of cuttings. For the traits of nutritive value, where this parameter was not significant it is important to comment that were evaluate two cutting what may affect the estimation of this parameter.

From the permanent effect obtained by the model, one can estimate the repeatability coefficient (r). It should be noted that the use of this type of model allows in a single analysis the estimation of important parameters with no financial cost. In addition, this study shows that the methodology of mixed models is flexible to provide the important information for the decision-making of the best strategy to be adopted by the breeders.

In Figure 1 are showed the repeatability (r) and the number of ideal cuttings for a given coefficient of determination. The values obtained for the morphoagronomic traits were similar to the ones observed by Viana et al. (2010) and Cavalcante et al. (2012),

however, in both studies, the authors evaluated different cultivar and non-arising crossings population. However, Daher et al. (2004), when evaluating the 16 clones of elephant grass in 12 cutting cycles, mean value of r were found; lower than the ones observed in the present work, indicating the environment influence in these traits. The number of cuttings for the R^2 of 0.8 is routinely practiced in elephant grass breeding program.

The number of cutting to be used for evaluation of the related traits to the nutritional value were not estimated due to the permanent effect of the environment not be significant. This fact can be explained since only two cuttings were evaluated for these traits, hindering the estimation of this effect. However, carry out this analysis is a laborious work and that involves high financial cost, influencing the capacity of measuring in many cuttings.

The use of the analysis that contemplates the diallel and the repeatability, allowed estimating all the necessary parameters for the genetic breeding program of the elephant grass, as for example, combination ability as well as the interactions with the cuttings. With the results, it can be observed that the specific combining ability had a greater importance for the morphoagronomic traits and the general combining ability for the traits of nutritive value. It was also observed that for the morphoagronomic traits to perform five cuttings, as carry out in the present work, it was sufficient for a R^2 of 80%, however for a R^2 of 90%, the number of evaluations of cuttings should be double. The information obtained by the proposed analysis in the present study also enable the selection of parental and hybrids. The use of this model can be an alternative for optimizing the analysis and the obtained information can be used to improve the breeding program of the elephant grass without adding any financial cost.

CONCLUSIONS

- Diallel model with the repeatability information allowed estimating in addition to the genetic effect, information about the measuring numbers and genotypes x cuttings interaction;
- The specific combining ability (SCA) has higher importance for the morphoagronomic characteristic and the general combining ability (GCA) has higher importance for traits related to the nutritive value;
- The number of five cuttings for the morphoagronomic traits was sufficient to a R^2 of 80%, however, it shall be of 10 to a R^2 of 90%.

REFERENCES

Bastos I T et al. 2003. Análise dialéctica em clones de cana-de-açúcar. *Bragantia*, v. 62, n.2, p. 199-206.

Butler D G et al. 2009. ASReml-R reference manual. The State of Queensland. Department of Primary Industries and Fisheries, Brisbane, Austrália.

Cavalcante M de A L et al. 2012. Coeficiente de repetibilidade e parâmetros genéticos em capim-elefante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n.4, p. 569-575.

Costa NL et al. 2004. Curva de crescimento e composição química de *Paspalum atratum* em Rondônia. In: Zootec. 2004. Brasília, DF. Anais... Brasília: ABZ/ AZOO, 2004. p.1-4. 1 CD ROM.

Cruz C D, Regazzi A J, Carneiro P C S. 2012. Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, v.1, 514p.

Daher R F et al. 2004. Estimativas de parâmetros genéticos e de coeficientes de repetibilidade de caracteres forrageiros em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 26, n.4, p. 483-490.

da Silva V Q R et al. 2014. Capacidade combinatória de capim elefante com base em caracteres morfoagronômicos. *Boletim de Indústria Animal*, v. 71, n.1, p. 63-70.

da Silva V Q R et al. 2014a. Capacidade combinatória de capim elefante com base em caracteres bromatológicos. *Boletim de Indústria Animal*, v. 71, n. 3, p. 241-249.

Fontoura C F, Brandão L E, Gomes L L. 2015. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 85–93.

Goering H K and Van Soest P J. 1967. Forage fiber analysis: Apparatus. Reagents. Procedures and some applications. *Agricultural Handbook*, Washington, DC, 379 p.

Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, v. 9, n. 4, p. 463-493.

Holland R W, Verplanken B, van Knippenberg A. 2003. From repetition to conviction: Attitude accessibility as a determinant of attitude certainty. *Journal of experimental social psychology*, v. 39, n. 6, p. 594-601.

Lira M de A, Cunha M V da, Pereira A V. 2010. Melhoramento genético do capim-elefante. In: Lira et al. (Ed.). *Capim-elefante: fundamentos e perspectivas*. Recife: IPA: UFRPE, p.31-48.

Martuscello J A et al. 2007. Repetibilidade de caracteres agronômicos em *Panicum maximum* Jacq. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n.6, p.1975-1981.

Pereira A V, Ledo F J S, Machado J C. 2017. BRS Kurumi and BRS Capiagu - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, n. 1, p. 59-62.

Pereira A V et al. 2001. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass L L(ed.). *Recursos genéticos e melhoramento de plantas*. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso. p.549-602.

Pinto C S et al. 2014. Genetic variability in progenies of *Eucalyptus dunnii* Maiden for resistance to *Puccinia psidii*. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 14, n. 3, p. 187-193.

Ra K, Shiotsu F, Abe J, Morita S. 2012. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, v. 37, p. 330-334.

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

Rengsirikul K et al. 2013. Biomass yield, chemical composition and potential ethanol yields of 8 cultivars of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) harvested 3-monthly in central Thailand. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, v. 3, n. 2, p. 107–12.

Resende M D V. 2002. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 975p.

Rocha J R do A S et al. 2017. Bioenergetic potential and genetic diversity of elephant grass via morpho-agronomic and biomass quality traits. *Industrial Crops and Products*, v. 95, p. 485-492.

Saraiva V M and König A. 2013. Produtividade do capim-elefante roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. *Revista Holos*, v. 1, p. 28-46.

Tilley J H A and Terry R A. 1963. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, v. 18, n. 2, p. 104-111.

Viana B L et al. 2010. Repetibilidade e respostas de características morfofisiológicas e produtivas de capim-elefante de porte baixo sob pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n.12, p.1731-1738.

Zeng-Hui L, Hong-Bo S. 2010. Main developments and trends of international energy plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 1, p. 530–534.

ANEXOS

Supporting information I

```
Asreml Model
model2int2<-
asreml(fixed=LigNIRS~corte+Blocos+corte:Blocos.
       random= ~ p1 +and(p2) +Trat+
       ide(Idparc)+
       corte:p1-corte:p2+and(corte:p2)+
       corte:Trat.
       ginverse=list(Idparc=ainvID2).
       equate.levels=c("p1"."p2").
       rcov=      ~      at(corte):units.
workspace=64e6.maxiter=100.
       data=plan)
summary(model2int2)$varcomp # variance
components
```

Supporting information II

Phenotypic correlation matrix among the traits

Trait/Trait	VIG	HGT	GM	DM	IVDDM	NDF	LIG	CP
VIG	-	0.82	0.78	0.74	0	0.11	0.01	-0.25
HGT		-	0.66	0.68	-0.21	0.27	0.15	-0.37
GM			-	0.95	-0.02	-0.08	0.13	-0.04
DM				-	-0.2	0.07	0.21	-0.16
IVDDM					-	-0.38	-0.46	0.44
NDF		symmetric				-	0.21	-0.77
LIG							-	-0.05
CP								-