

AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA
BIOMASSA E ESTUDO DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM
CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS EM CAMPOS DOS
GOYTACAZES - RJ

LILIANE BARROSO DE SOUSA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JUNHO - 2013

**AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA
BIOMASSA E ESTUDO DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM
CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS EM CAMPOS DOS
GOYTACAZES - RJ**

LILIANE BARROSO DE SOUSA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientador: Prof. Dr. Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JUNHO – 2013

AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA
BIOMASSA E ESTUDO DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM
CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS EM CAMPOS DOS
GOYTACAZES - RJ

LILIANE BARROSO DE SOUSA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Aprovada em 20 de Junho de 2013.

Comissão Examinadora:

Juarez Campolina Machado (D. Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas)
Embrapa Gado de Leite

Prof.^a Helaine Christine Cancela Ramos (D. Sc. em Genética e Melhoramento
de Plantas) – UENF

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D. Sc. em Fitotecnia) – UENF

Prof. Rogério Figueiredo Daher (D. Sc. em Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida;

Aos meus pais, por sempre me incentivarem a continuar e nunca desistir diante das dificuldades;

À minha irmã, pelo apoio e compreensão, já que soube entender minha ausência em um período bastante difícil para nós;

Ao meu noivo, simplesmente pela pessoa que ele é, por sempre compreender os motivos da minha ausência. Seu amor, incentivo e paciência foram fundamentais para mais essa conquista;

Às minhas afilhadas, pelos momentos de alegria e descontração;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela realização do curso de Mestrado;

À Capes, pela concessão da bolsa;

Ao Prof. Rogério, pela orientação, confiança, amizade e incentivo;

Aos membros da banca, por terem aceito o convite e participado da banca de avaliação;

Aos amigos especiais, Paulo Cesar e Thais, simplesmente por serem amigos em todas as horas. A amizade de vocês ajudou a amenizar a saudade de casa;

Aos novos amigos que fiz durante esses anos, entre eles, Bruna, André, Ana Cláudia, Larissa, Verônica, Lorraine e Tati, pela convivência diária tanto nas aulas, quanto nos trabalhos de campo e nos momentos de descontração;

À equipe de campo, Romildo e os técnicos do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos – Campos dos Goytacazes, por toda a ajuda, pelos bons momentos de descontração e dedicação a este trabalho, pois sem a participação deles não seria possível esta conquista;

Ao Laboratório de Zootecnia e Nutrição Animal (LZNA), por ceder suas instalações para a realização de uma parte das análises e pelo auxílio do técnico Cláudio Lombardi;

À Embrapa Gado de Leite, pela realização das análises referentes à qualidade da biomassa.

À Faperj e ao CNPq, pelo financiamento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. CAPÍTULOS	4
3.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOAGRONÔMICAS E DA QUALIDADE DA BIOMASSA DE HÍBRIDOS DE CAPIM-ELEFANTE EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ	4
3.1.1 INTRODUÇÃO	4
3.1.2 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1.5 CONCLUSÕES	39
3.2 CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS, EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ	40
3.2.1 INTRODUÇÃO	40
3.2.2 REVISÃO DE LITERATURA	41
3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS	53
3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.2.5 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

RESUMO

SOUSA, L. B.; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Junho de 2013. "AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA BIOMASSA E ESTUDO DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ." Orientador: Professor Rogério Figueiredo Daher.

O capim-elefante é uma forrageira tropical bastante difundida pelo Brasil. Inicialmente, foi empregado exclusivamente no setor pecuário como alimento para o gado. Ele é caracterizado por ter alta produtividade e alta capacidade fotossintética. Além do uso forrageiro, a cultura tem-se mostrado uma fonte alternativa de energia renovável. O trabalho teve como objetivos: avaliar as características morfoagronômicas de híbridos de capim-elefante e os seus genitores para produção de biomassa energética, nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes – RJ; e estimar a capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores e a capacidade específica de combinação (CEC) dos híbridos com base nas características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa. No primeiro capítulo, foram avaliadas as características morfoagronômicas de híbridos de capim-elefante em um dialeto parcial em Campos dos Goytacazes - RJ. O experimento foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, localizado no município de Campos dos Goytacazes, em um delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Foram avaliadas as características: altura da

planta (ALT), diâmetro do colmo (DC), largura da lâmina (LL), número de perfilhos (NP), produção de matéria verde total (PMV), porcentagem de matéria seca (%MS), produção de matéria seca total (PMS), porcentagem de cinza (%CIN), porcentagem de fibra em detergente neutro (%FDN), porcentagem de fibra em detergente ácido (%FDA), porcentagem de celulose (%CEL), porcentagem de hemicelulose (%HEM) e porcentagem de lignina (%LIG). Para as características morfoagronômicas PMS, ALT e LL, foi verificada a existência de interação pelo teste F. Em relação à qualidade da biomassa, houve interação entre as características: %FDN, %FDA, %CEL, %HEM e %LIG. Com base nos valores médios, os híbridos H11 e H14 se mostraram promissores para a produção de matéria seca para a finalidade energética. O genitor Porto Rico 534-B pode ser indicado em programas de melhoramento. O segundo trabalho foi realizado nas mesmas condições e com os mesmos tratamentos. Nele foram avaliadas a capacidade geral de combinação e a capacidade específica de combinação, com base nos caracteres morfoagronômicos e nos da qualidade da biomassa. Com base nos resultados, concluiu-se que houve efeito gênico aditivo no controle das características ALT, LL, PMS, %FDN, %FDA, %CEL, %HEM e %LIG apenas entre os genitores do grupo 1. Houve efeito de dominância nas características ALT, DC, LL, NP, %CIN, %FDN, %FDA, e %CEL.

ABSTRACT

SOUSA, L. B.; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. May, 2013. "MORPHOAGRONOMIC EVALUATION AND QUALITY OF BIOMASS AND STUDY OF COMBINING ABILITY IN ELEPHANT GRASS FOR ENERGY PURPOSES in Campos, RJ." Orientador: Professor Rogério Figueiredo Daher.

Elephant grass is a tropical forage widespread in Brazil. Initially it was used exclusively in the livestock sector as food for cattle. It is characterized by high productivity and high photosynthetic capacity. Besides the use forage, culture has been shown as an alternative source of renewable energy. The study aimed to: assess the agronomic characteristics of elephant grass hybrids and their parents for the production of biomass energy in the environmental conditions of the Campos dos Goytacazes - RJ; estimate the general combining ability (GCA) of the parents and the specific capacity combination (SCC) of the hybrids based on the agronomic characteristics and quality of biomass. In the first chapter, it was evaluated the agronomic characteristics of hybrid elephant grass in a partial diallel in Campos dos Goytacazes - RJ. The experiment was carried out in the State Center for Research in Agro-energy and Utilization of Waste, located in the municipality of Campos dos Goytacazes in a randomized block design with three replications. The following characteristics were evaluated : plant height (HEI), stem diameter (SD), blade width (BW), number of tillers (NT), total green matter yield (GMY), percentage of dry matter (%DM), total dry matter production (PDM), percentage of ash (%ASH), percentage of neutral detergent fiber (%NDF),

percentage of acid detergent fiber (%ADF), percentage of cellulose (%CEL), percentage of hemicellulose (%HEM) and percentage of lignin (%LIG). For agronomic characteristics PDM, BW and HEI, it was checked for interaction F-test. Regarding the quality of the biomass, there was interaction among characteristics %NDF, %ADF, %CEL, %HEM and %LIG. Based on the average values, the hybrids H11 and H14 showed promise for the production of dry matter for the purpose of energy. The parent Puerto Rico 534- B may be indicated in breeding programs. The second work was performed under the same conditions and with the same treatments. In this work, the general combining ability and specific combining ability were evaluated, based on morphological characteristics and quality of biomass. Based on the results, it was concluded that there was genic additive effect on control characteristics of HEI, BW, PDM, %NDF, %ADF, %CEL, %HEM and %LIG only among the parents in group 1. There was effect of dominance on the characteristics HEI, SD, BW, NT, %ASH, %NDF, %ADF and %CEL.

1. INTRODUÇÃO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é conhecido como capim-napier, capim-cameroon e capim-cana. É uma forrageira tropical bastante difundida no Brasil. Suas principais características são alta capacidade de produção de biomassa e alta capacidade fotossintética. Essas características, quando associadas a outras características como teores de fibra, lignina e à relação C:N, fazem desta cultura uma fonte alternativa de energia. Apesar da liberação de CO₂ (dióxido de carbono) que ocorre durante a queima do material ele é absorvido durante o processo de fotossíntese.

A utilização da biomassa do capim-elefante na alimentação dos animais pode ser feita na forma de piquetes rotacionados ou ensilagem (Moreira et al., 2008 e Andrade et al., 2012). Nos últimos anos, esta biomassa tem sido foco de estudos devido ao potencial e à viabilidade para utilização como fonte renovável de energia, a começar pelo seu menor ciclo de desenvolvimento quando comparado ao eucalipto, que é a principal fonte empregada na geração de energia por combustão direta (Embrapa, 2013b). Isso possibilita a realização de dois cortes ao ano, com intervalos de seis meses, enquanto o eucalipto atinge seu ponto ótimo em torno de seis a sete anos (Rodriguez; Bueno e Rodrigues, 1997).

Um exemplo da empregabilidade da matéria-prima são as usinas termoelétricas. Em 2010, foi implantada no Brasil a primeira usina termoelétrica capaz de gerar eletricidade a partir da queima do capim-elefante, localizada no município de São Desidério – BA, com a capacidade de gerar 30 megawatts por

hora, quantidade suficiente para atender a uma cidade de 30 mil habitantes (Bispo, 2010). No caso da região de Campos dos Goytacazes – RJ, a indústria ceramista é que vem sendo mantida pela queima da madeira para garantir a geração de energia, possibilitando, assim, o funcionamento de um dos maiores polos ceramistas do país.

Esta região do país é responsável por abrigar um dos polos ceramistas mais importantes, responsável pela geração de empregos na região. Um exemplo a ser citado é a Cerâmica União, pioneira na utilização da biomassa do capim-elefante como fonte de energia. Já experimentou e aprovou a biomassa. Atualmente, tem procurado substituir o material gerado pelo eucalipto. A técnica utilizada pela cerâmica é a moagem para retirada de aproximadamente 50% da umidade presente na planta e secagem natural (Delfino, 2009).

Para Quesada (2005), a produção de material energético a partir da biomassa vegetal é importante em países tropicais como o Brasil, onde há um regime abundante de chuvas, temperaturas elevadas e disponibilidade de energia luminosa. Além disso, a queima da biomassa recicla o CO₂ uma vez que ele é retirado da atmosfera pela fotossíntese, ao contrário do que acontece na queima dos combustíveis fósseis.

Em virtude disso, a Universidade Estadual do Norte Fluminense, localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ, tem realizado pesquisas em torno desta cultura. Como já mencionado, as condições climáticas brasileiras são extremamente favoráveis ao desenvolvimento da cultura, contudo continua a busca por materiais (genótipos/híbridos) capazes de atender as necessidades de cada região.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram: avaliar as características morfoagronômicas dos híbridos de capim-elefante e dos seus genitores para produção de biomassa energética nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes – RJ; e estimar a capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores e a capacidade específica de combinação (CEC) dos híbridos com base nas características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa, visando a estabelecer conjuntamente com a CGC e a CEC a melhor estratégia de melhoramento para a cultura.

3. CAPÍTULOS

3.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOAGRONÔMICAS E DA QUALIDADE DA BIOMASSA DE HÍBRIDOS DE CAPIM-ELEFANTE EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

3.1.1 INTRODUÇÃO

O capim-elefante pertence à família *Poaceae*, gênero *Pennisetum*, sendo a espécie conhecida como *Pennisetum purpureum* Schum, típica das regiões tropicais. O registro na literatura conta que sua introdução no território brasileiro ocorreu por volta do início do século XX, pelo Coronel Napier (Bennet, 1976).

No início, toda sua produção era destinada exclusivamente ao setor pecuário como uma opção de alimento para o gado na forma de forragem, visando a obter ganhos na produção de carne e leite (Urquiaga, 2004). Sua principal característica é a alta produtividade de biomassa, o que acabou despertando o interesse do setor energético.

No momento, já se sabe que a biomassa produzida é capaz de atender as necessidades tanto para forragem como para geração de energia. Além disso, é uma cultura em que se observa grande variabilidade genética, permitindo que ela

se adapte a diferentes regiões do país (Daher et al., 2000; Freitas 2004; Pereira et al., 2008; Vitor et al., 2009; Cruz et al., 2010; Meinerz et al., 2011).

As plantas desta espécie passam por algumas mudanças durante seu crescimento e desenvolvimento em relação às suas características agrônômicas, morfológicas e da qualidade da biomassa. Assim, à medida que a planta se desenvolve, o conteúdo da matéria seca sofre alterações (Van Soest, 1994).

Segundo Dias et al. (2008), as gramíneas, quando jovens, normalmente possuem alta digestibilidade dos componentes nutritivos, e o consumo de forragem é alto. À medida que a planta se desenvolve, seu valor nutritivo decresce pela diluição dos nutrientes, ocorrendo o aumento dos componentes fibrosos, refletindo-se negativamente no consumo do material vegetal pelos animais. Além disso, pode ser observado aumento da produtividade. Todas essas características são de interesse do setor energético.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar as características morfoagronômicas dos híbridos de capim-elefante e dos seus genitores para produção de biomassa energética, nas condições ambientais de Campos dos Goytacazes – RJ.

3.1.2 REVISÃO DA LITERATURA

1. Aspectos gerais do capim-elefante

O capim-elefante é originário do continente africano, mais especificamente da África Tropical, entre 10° N e 20° S de latitude. Foi descoberto por volta do século XX pelo Coronel Napier (Rodrigues et al., 2001) e introduzido no Brasil em 1920, por meio de mudas provenientes de Cuba. É uma das forrageiras mais difundidas entre as regiões brasileiras. Segundo Silva et al. (2010), é uma forrageira com alto potencial para produção de matéria seca e de grande eficiência fotossintética.

É uma espécie cespitosa, que atinge de 3 a 6 m de altura, apresenta grandes panículas terminais com raque pubescente, espiguetas isoladas ou em grupos de 2 a 5. Os colmos podem chegar a 3 cm de espessura na base.

Formam-se até 20 entrenós, geralmente, lisos de coloração amarelada, às vezes, com pigmentação avermelhada e nós intumescidos. As folhas têm lâminas de 30 a 90 cm de comprimento e até 2,5 cm de largura, nervura mediana, provocando depressão na face ventral e proeminência na dorsal. Bainhas glabras ou ásperas e pilosas na face ventral (Instituto Horus, 2005).

Além disso, é predominantemente alógama, protogínica, portanto, apresenta um alto nível de heterozigose, sendo que a taxa de polinização cruzada vai depender da época de florescimento dos genótipos envolvidos e do arranjo físico das populações. O intervalo médio de tempo decorrido entre o aparecimento dos estigmas e a abertura das primeiras anteras é de, aproximadamente, sete dias. De acordo com Pereira (1994), a variação deste intervalo no mesmo acesso é pequena, entretanto, a variação entre os acessos permite classificá-los como precoces, intermediários ou tardios.

A espécie tem propagação vegetativa, o que possibilita isolar e propagar as plantas superiores resultantes de cruzamentos para testes e eventuais lançamentos. Segundo Holm et al. (1977), a produção de sementes no capim-elefante é inconsistente, apresentando baixa viabilidade. Para Pereira et al. (2001), a depressão endogâmica oriunda do processo de autofecundação seria um dos principais fatores responsáveis pela baixa germinação das sementes e pelo baixo vigor das plantas do capim-elefante propagado por sementes.

A reprodução sexual por meio da autofecundação origina plantas de baixa produtividade e tamanho inferior, em função da redução da heterozigose na espécie (Hanna, 1999). Entretanto, vale salientar que, em espécies tetraploides como capim-elefante (Brunken, 1977), a redução da heterozigose com uma autofecundação é de apenas 5,6% (Borém, 2001).

2. Capim-elefante para fins energéticos

A energia da biomassa pode ser definida como a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono, produtos da fotossíntese. Sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou por intermédio de seus derivados. A renovação desta biomassa se dá por meio do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. As plantas, por

meio da fotossíntese, transformam o CO₂ e a água em hidratos de carbono, que compõem sua massa viva, liberando o oxigênio (Goldemberg, 2009).

O capim-elefante é uma forrageira, que por muitos anos, foi utilizada na alimentação dos animais. Atualmente, estudos têm mostrado que sua utilização como fonte alternativa de energia é viável pelo fato de obter altas produções. De acordo com Dall'Agnol et al. (2004), o capim-elefante atinge sua fase adulta em cerca de 20 semanas. Isso tem despertado o interesse de alguns produtores e de algumas empresas em utilizar essa cultura como fonte de energia, graças a sua alta produtividade, ao crescimento acelerado e à alta capacidade fotossintética, sendo esta uma característica típica das gramíneas tropicais que crescem rapidamente e otimizam o uso da água do solo e da energia solar (Lemus et al., 2002; Urquiaga et al., 2012).

Com isso, a planta ideal para tal finalidade deve ser rica em fibras e lignina, com alta relação C: N, aliada à alta produção de biomassa, associada à fixação biológica de nitrogênio (FBN) para reduzir os custos com adubação nitrogenada, objetivando assim um produto de boa qualidade e com o mínimo consumo de energia fóssil (Lemus et al., 2002; Urquiaga et al., 2004; Quesada, 2005; Samson et al., 2005).

3. Características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa

As avaliações morfoagronômicas trazem informações que podem influenciar na tomada de decisões quanto à utilização para combustão direta do capim-elefante. Características como diâmetro de colmo, largura da folha e número de perfilhos interferem diretamente na produção de matéria seca (t.ha⁻¹), além disso, características como comprimento e número de folhas, altura da planta, área foliar e relação folha/colmo trazem informações adicionais a respeito da qualidade do material.

A literatura relata algumas informações, Pereira et al. (2006), analisando as características morfoagronômicas de híbridos interespecíficos, observaram média de 26,4 perfilhos por metro linear. Rossi (2010) encontrou média de 44,25 perfilhos em acessos de capim-elefante com aproximadamente dez meses de idade. Silva et al. (2010), pesquisando a variabilidade e herdabilidade dos

caracteres morfológicos em clones de capim-elefante na Zona da Mata de Pernambuco, encontraram média de 27,25 perfilhos/m. Barbé (2012) observou média de 29,94 perfilhos/m em genótipos de capim-elefante com 24 semanas de idade.

Andrade e Gomide (1971) afirmam que a altura das plantas é variável, podendo atingir em torno de 3,16 m com um pouco mais de seis meses. Rossi (2010), ao avaliar as características agronômicas de acessos de capim-elefante, obteve média de 3,33 m com dez meses de idade. Barbé (2012), ao avaliar genótipos de capim-elefante na região de Campos dos Goytacazes – RJ, encontrou altura média de 2,98 m e 3,40 m com 20 e 24 semanas, respectivamente.

Zhang et al. (2010), ao estimarem o coeficiente de trilha com base na análise de agrupamento das características produtivas e morfológicas em *Pennisetum purpureum*, encontraram média de 3,3 cm para largura de folha. Este valor se manteve próximo do observado por Silva (2011), que, ao avaliar um dialeto parcial de capim-elefante em Campos dos Goytacazes, observou largura média da folha de 2,90 cm no período seco e 3,11 cm no período das águas. Barbé (2012), ao avaliar genótipos de capim-elefante em diferentes idades de corte na região de Campos dos Goytacazes – RJ, obteve média de 12,86 mm para diâmetro do colmo com 24 semanas de desenvolvimento.

Com relação às características da qualidade da biomassa, a variável importante a ser considerada é o teor de fibra para saber a viabilidade de se produzir energia a partir do capim-elefante. O teor de fibra é diretamente proporcional ao poder calorífico do material. É considerado quimicamente um agregado de compostos, e o principal método para sua quantificação tem por base detergentes, em que a fração solúvel em detergente neutro é constituída de pectina, açúcares simples, amido, lipídios e parte de compostos nitrogenados e minerais. A fração insolúvel em detergente neutro engloba a celulose, hemicelulose, lignina, parte dos compostos nitrogenados e os minerais associados a esses polímeros (Van Soest, 1994).

Sabe-se que a parede celular é uma complexa estrutura, formada por lignina, celulose, hemicelulose, pectina, ceras, proteína e minerais. Os constituintes da parede celular ocorrem em proporções variáveis, em função da espécie, da localização e da maturidade da planta. Vários autores relatam

aumento dos teores de matéria seca, Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), celulose e lignina acompanhados da redução do teor de proteína bruta do capim-elefante, durante o desenvolvimento da planta.

Queiroz Filho et al. (2000), avaliando a produtividade e a qualidade da cultivar Roxo em diferentes idades de corte observaram que com o aumento da idade de corte ocorria um acréscimo linear dos teores de FDA e FDN, observando um teor médio de 77,0% de FDN e 48,8% de FDA, aos 100 dias de idade. Valor semelhante ao observado por Souza Sobrinho et al. (2005), que, ao avaliarem híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milho, observaram média de 78,07% de FDN e 48,88% de FDA. Magalhães et al. (2009), avaliando a influência da adubação nitrogenada e a idade de corte sobre os teores de fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante, observaram médias de 69,48% na cultivar Roxo e 71,11% na cultivar Pioneiro. Morais et al. (2009), trabalhando com cinco genótipos de capim-elefante em dois tipos de solo, observaram médias de 43,7% de FDA em um argissolo e 42,4% de FDA em um planossolo com oito meses de idade. Barbé (2012) observou média de 79,29% de FDN e 48,83% de FDA no genótipo Mole de Volta Grande. Para Quesada (2005), os valores de fibras acima de 52% aliados à alta produção de biomassa seca, em torno de 35 t/ha, em apenas seis meses de cultivo indicam boa qualidade do material para ser utilizado para fins energéticos.

Além disso, a lignina também tem sua importância. Ela é um componente não carboidrato da parede celular dos vegetais. Sua composição, estrutura e quantidade variam de acordo com o tecido, a origem botânica, os órgãos, a idade da planta e os fatores ambientais (Akin, 1989). Seu conteúdo pode chegar a 20% da matéria seca nas gramíneas mais fibrosas (Silva e Queiroz, 2002). As proporções relativas aos componentes da parede celular, em especial o teor de lignina e suas interações (químicas e estruturais) com a celulose e a hemicelulose, são responsáveis pela porção da fibra que potencialmente pode fornecer energia. Dessa forma, a estimativa da concentração de lignina na parede celular das plantas forrageiras torna-se essencial no estabelecimento do seu poder calorífico.

Campos et al. (2002), avaliando a degradabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade, observaram média de 5,0% de lignina aos 105 dias. Morais et al. (2009), avaliando a produção e a qualidade da biomassa de

diferentes genótipos de capim-elefante cultivados para uso energético, observaram média de 9,0% para lignina.

3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1. Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, localizado no município de Campos dos Goytacazes – RJ (latitude 21°19' 23" S e longitude 41° 19' 40" W e altitude variando de 20 a 30 m). O clima da região é tipo Aw de Köppen (tropical com estação seca de inverno). A Tabela 1 mostra os dados de precipitação pluviométrica mensal, verificados durante o período experimental, foram obtidos na Estação Evapotranspirométrica – setor de Irrigação e Agrometeorologia da UENF/PESAGRO (Campos dos Goytacazes – RJ).

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com três repetições. A parcela foi composta por uma linha de 4 m com espaçamento de 1,5 m entre linhas, sendo considerada útil 1 m dentro das linhas. Cada bloco foi composto por 25 tratamentos (16 híbridos, 8 genitores e 1 testemunha).

O plantio foi realizado em maio de 2010, por meio de estacas dispostas pé com ponta, distribuídas em sulcos de 10 cm de profundidade. No plantio foram incorporados 100 kg/ha de P₂O₅ (superfosfato simples). A irrigação foi oferecida apenas durante a emergência das plantas e, após 50 dias de plantio, complementou-se a adubação com 25 kg/ha de sulfato de amônio e cloreto de potássio.

Após a fase de estabelecimento, todos os genótipos foram cortados rente ao solo (corte de uniformização) no dia 17 de dezembro de 2010, em seguida foi feita uma adubação em cobertura com 25 kg/ha de sulfato de amônio e cloreto de potássio. Nas parcelas em que houve falhas na emergência das plantas, procedeu-se ao replantio

Tabela 1 - Dados pluviométricos (mm) organizados em meses coletados nas proximidades da área experimental durante a execução do trabalho.

2011		2012	
Jan	-----	Jan	216,5
Fev	0,5	Fev	11,7
Mar	211,5	Mar	73,6
Abr	25,4	Abr	14,4
Mai	41,0	Mai	147,2
Jun	12,2	Jun	74,0
Jul	7,2	Jul	5,9
Ago	16,1	Ago	59,8
Set	15,5	Set	21,6
Out	98,0	Out	12,5
Nov	81,3	Nov	134
Dez	114,3	Dez	2,9
Total	623,0	Total	774,1

Fonte: Estação Evapotranspirométrica do Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos – Pesagro – Rio, Campos dos Goytacazes - RJ.

O 1º corte foi feito em 25 de agosto de 2011 (36 semanas após o corte de uniformização – período seco); o 2º corte, em 16 de abril de 2012 (36 semanas após o 1º corte – período chuvoso); e o 3º corte, em 25 de setembro de 2012 (23 semanas após 2º corte – período seco).

2. Relação dos Genitores e obtenção dos híbridos

Foram utilizados dois grupos de genitores de capim-elefante. O grupo 1 foi constituído por quatro genitores masculinos: Taiwan A-144 (P1), Vruckwona (P2), Pusa Napier nº 2 (P3) e Porto Rico 534-B (P4). E o grupo 2, por quatro genitores femininos: Mercker Santa Rita (P1), Taiwan A-146 (P2), Mercker S. E. A. (P3) e Napier nº 2 (P4). Como testemunha, foi utilizado o acesso BAG-86.

As 16 combinações híbridas obtidas dos cruzamentos dialélicos apresentados na Tabela 2 foram identificadas como H1 (1x1), H2 (1x2), H3 (1x3), H4 (1x4), H5 (2x1), H6 (2x2), H7 (2x3), H8 (2x4), H9 (3x1), H10 (3x2), H11 (3x3), H12 (3x4), H13 (4x1), H14 (4x2), H15 (4x3) e H16 (4x4).

Tabela 2 – Esquema dos cruzamentos do dialelo parcial com oito genitores de capim-elefante.

Grupo 2 (genitores femininos)	Grupo 1 (genitores masculinos)			
	Taiwan A-144 (P1)	Vruckwona (P2)	Pusa Napier nº 2 (P3)	Porto Rico 534-B (P4)
Mercker Santa Rita (P1)	H1	H5	H9	H13
Taiwan A-146 (P2)	H2	H6	H10	H14
Mercker S. E. A. (P3)	H3	H7	H11	H15
Napier nº 2 (P4)	H4	H8	H12	H16

3. Características avaliadas

As características foram avaliadas em amostras da parte aérea das plantas. Elas foram divididas em morfoagronômicas e qualidade da biomassa. Em cada corte, foram avaliadas as características descritas a seguir:

Entre as características morfoagronômicas:

- Altura das plantas (ALT) em metros: medida do solo até a curvatura da última folha completamente expandida.
- Diâmetro do colmo (DC) em mm: medido a 10 cm do nível do solo.
- Largura da lâmina (LL) em cm: medida com régua graduada e obtida por três medidas em cada repetição.
- Número de perfilhos (NP), em perfilhos por metro linear: a contagem foi realizada em 1,0 m dentro das linhas, desprezando-se as extremidades decorrentes das falhas de brotação.
- Produção de matéria verde total (PMV) em t ha⁻¹, para a qual a biomassa das parcelas foi pesada ainda fresca. Logo após, foi retirado um perfilho (uma subamostra) para secagem em estufa a 65 °C por 72 horas até peso constante (ASA – amostra seca ao ar); o material seco (folha e colmo) foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em frasco de plástico. Em seguida, as amostras foram colocadas novamente para secar em estufa a 105 °C por 12 horas (ASE - amostra seca em estufa).
- Porcentagem de matéria seca (%MS): foi estimada a partir do produto entre a ASA e a ASE.
- Produção de matéria seca total (PMS), em t.ha⁻¹.

Com as amostras coletadas no primeiro e no segundo corte, foram feitas as análises das características da qualidade da biomassa, tendo sido avaliadas:

- Porcentagem de cinza (%CIN): estimada pela razão entre o peso da amostra seca na mufla 600 °C por 15 horas e o peso da matéria seca definitiva (Silva e Queiroz, 2002).
- Porcentagem de fibra em detergente neutro (%FDN).
- Porcentagem de fibra em detergente ácido (%FDA).
- Porcentagem de celulose (%CEL).
- Porcentagem de hemicelulose (%HEM): estimada pela diferença entre as porcentagens obtidas de FDN e FDA.
- Porcentagem de lignina (%LIG).

As análises das %FDN, %FDA, %CEL e %LIG foram feitas pelo Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Gado de Leite em espectrofotometria próxima do infravermelho (NIRS). Todas as análises foram feitas com base na planta inteira.

4. Análise Estatística

4.1. Análise de variância individual

A análise estatística foi feita utilizando o programa GENES (Versão 7.0, 2009). Inicialmente, foi feita uma análise de variância individual pelo teste F para cada corte (Tabela 3) com base na média das parcelas de cada uma das características avaliadas e descritas anteriormente. Considerando o modelo de blocos casualizados envolvendo os dados de cada uma das características avaliadas, e, como fixos, todos os efeitos, exceto bloco e erro experimental (modelo fixo), foi utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} = valor observado do i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;

μ = constante geral;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo;

B_j = efeito do j-ésimo bloco; e (NID, 0, σ_b^2)

ε_{ij} = erro experimental (NID, 0, σ_e^2).

Tabela 3 - Esquema da análise de variância individual, com as respectivas esperanças dos quadrados médios.

FV	GL	QM	E (QM)	F
Blocos	$b - 1$	QMb	$\sigma^2 + t \sigma_B^2$	
Tratamentos	$t - 1$	QMt	$\sigma^2 + b f_T$	QMt/QMR
Genótipos (pais + híbridos)	$g - 1$	QMg	$\sigma^2 + b T e f_G$	QMg/QMR
Híbridos	$h - 1$	QMh	$\sigma^2 + b \phi p$	QMh/QMR
Pais	$p - 1$	QMp	$\sigma^2 + b \phi h$	QMp/QMR
Testemunha (Te)	$te - 1$	QMte	$\sigma^2 + b g f_{Te}$	QMte/QMR
Genótipos vs Te	1	QMgte	$\sigma^2 + b f_{Gte}$	QMgte/QMR
Híbridos vs pais	1	QMhp	$\sigma^2 + b \phi hp$	QMhp/QMR
Resíduo	$(b - 1)(t - 1)$	QMR	σ^2	

Após a análise de variância de cada corte, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o Programa GENES (Versão 7.0, 2009.).

4.2. Análise de variância conjunta

A análise de variância conjunta foi efetuada baseando-se nos três cortes de avaliação, segundo o delineamento de parcelas subdivididas no tempo (Steel e Torrie, 1997). O modelo estatístico empregado, nesse caso, é:

$$Y_{ijk} = \mu + b_j + g_i + e_{ij} + c_k + e_{jk} + gc_{ik} + \varepsilon_{ijk}, \text{ em que:}$$

Y_{ijk} = valor observado do i-ésimo genótipo no k-ésimo bloco dentro do j-ésimo corte;

μ = média geral;

b_j = efeito do bloco j;

g_i = efeito do genótipo i;

e_{ij} = erro experimental (a);

c_k = efeito do corte k;

e_{jk} = erro experimental (b);

gc_{ik} = efeito da interação genótipo i e o corte k; e

ε_{ijk} = erro experimental (c).

O esquema da análise de variância conjunta é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Esquema da análise de variância conjunta e esperança dos quadrados médios.

FV	GL	E (QM)
Blocos	$b - 1$	$\sigma_{\varepsilon}^2 + a \sigma_{PC}^2 + b \sigma_{BP}^2 + ab \sigma_B^2$
Genótipos (G)	$g - 1$	$\sigma_{\varepsilon}^2 + b \sigma_{BP}^2 + rb \sigma_P^2$
Erro a	$(r-1)(a-1)$	$\sigma_{\varepsilon}^2 + b \sigma_{BP}^2$
Cortes (C)	$c - 1$	$\sigma_{\varepsilon}^2 + a \sigma_{BC}^2 + r \sigma_{PC}^2 + ra \frac{\sum_{q=1}^c C_q^2}{c-1}$
Erro b	$(r-1)(b-1)$	$\sigma_{\varepsilon}^2 + a \sigma_{BC}^2$
G x C	$(g - 1)(c - 1)$	$\sigma_{\varepsilon}^2 + r \sigma_{PC}^2$
Erro c	$(r-1)(a-1)(b-1)$	σ_{ε}^2

3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Análise das características morfoagronômicas

1.1. Análise de variância de cada corte

O resultado da análise de variância individual para cada corte das características morfoagronômicas avaliadas no 1º, 2º e 3º corte, envolvendo os dezesseis híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos entre os oito genitores de capim-elefante, foi apresentado nas Tabelas 5, 6 e 7, respectivamente.

Com base nos resultados, foi observado que, no 1º corte Tabela 5, ocorreram diferenças significativas, pelo teste F a ($P < 0,05$), para a característica porcentagem de matéria seca (%MS), nas fontes de variação genitores e no contraste híbridos vs genitores; na produção de matéria seca (PMS), nas fontes de variação tratamentos, genótipos e genitores; no número de perfilhos (NP) nas fontes de variação genótipos, genitores e no contraste híbridos vs genitores; na altura (ALT), nas fontes de variação híbridos, genitores e no contraste híbridos vs genitores; e na largura de lâmina (LL), apenas na fonte de variação genitores.

Além disso, ocorreram diferenças significativas, pelo teste F a ($P < 0,01$), na característica NP, apenas para tratamentos; na ALT, nas fontes de variação tratamentos e genótipos; e na LL apenas na de variação genótipos. Já na característica diâmetro do colmo (DC), não foram observadas diferenças significativas em nenhuma das fontes de variação estudadas.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância das seis características morfoagronômicas avaliadas no 1º corte envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, os oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a testemunha (BAG-86). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios					
		%MS	PMS	NP	ALT	DC	LL
Bloco	2	42,391	7,958	67,893	0,435	9,925	0,336
Tratamentos	24	29,389 ^{ns}	45,735*	129,646**	0,129**	2,959 ^{ns}	0,964 ^{ns}
Genótipos (G)	23	30,653 ^{ns}	44,328*	127,816*	0,134**	2,896 ^{ns}	0,529**
Híbridos (H)	15	17,132 ^{ns}	31,527 ^{ns}	55,227 ^{ns}	0,110*	2,726 ^{ns}	0,368 ^{ns}
Genitores (g)	7	49,647*	71,935*	178,685*	0,141*	2,582 ^{ns}	0,852*
G vs T	1	0,316 ^{ns}	78,091 ^{ns}	171,742 ^{ns}	0,028 ^{ns}	4,410 ^{ns}	10,966 ^{ns}
H vs g	1	100,524*	43,140 ^{ns}	860,444*	0,432*	7,642 ^{ns}	0,415 ^{ns}
Resíduo	48	21,882	24,341	58,851	0,051	3,113	0,218
Média geral		39,748	16,197	32,413	3,544	10,255	1,899
Média dos genótipos		39,735	15,989	32,722	3,548	10,205	1,815
Média dos híbridos		40,57	16,54	35,14	3,49	9,98	1,76
Média dos genitores		38,06	14,89	27,81	3,66	10,67	1,92
Média da testemunha		40,07	21,20	24,67	3,45	11,44	3,7
CV(%)		11,769	30,459	23,667	6,399	17,206	24,662

GL: grau de liberdade; %MS: porcentagem de matéria seca; PMS: produção de matéria seca ($t \cdot ha^{-1}$); NP: número de perfilhos ($perfilhos \cdot m^{-1}$); ALT: altura da planta (m); DC: diâmetro do colmo (mm); LL: largura da lâmina (cm); *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste F.

No 2º corte, ocorreram diferenças significativas ($P < 0,05$) para a característica %MS, nas fontes de variação tratamentos e genótipos; para PMS, nas fontes tratamentos, genótipos e genitores; para NP, somente na fonte de variação híbridos; para DC, na fonte de variação genitores; e na característica LL, somente no contraste híbridos vs genitores. Também foram observadas diferenças significativas ($P < 0,01$) para a característica %MS, na fonte de variação híbridos; para NP, nas fontes tratamentos, genótipos, genitores e no contraste genótipos vs testemunha; para ALT, nas fontes tratamentos e

genótipos; e para a característica DC, nas fontes tratamentos, genótipos, no contraste genótipos vs testemunha, indicando haver pelo menos um genótipo entre os híbridos e/ou os genitores que tenham apresentado comportamento semelhante ou superior à testemunha BAG-86. E no contraste híbridos vs genitores, indicando que, pelo menos, um híbrido foi superior aos genitores para esta característica (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância das seis características morfoagronômicas avaliadas no 2º corte, envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, os oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a testemunha (BAG-86). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios					
		%MS	PMS	NP	ALT	DC	LL
Bloco	2	6,937	111,564	272,813	0,069	1,141	0,023
Tratamentos	24	13,859*	298,515*	202,666**	0,124**	8,472**	0,412**
Genótipos (G)	23	14,458*	311,391*	183,304**	0,129**	6,527**	0,187 ^{ns}
Híbridos (H)	15	17,455**	264,374 ^{ns}	149,543*	0,986 ^{ns}	3,675 ^{ns}	0,1628 ^{ns}
Genitores (g)	7	9,965 ^{ns}	426,317*	252,803**	0,202 ^{ns}	7,615*	0,124 ^{ns}
G vs T	1	0,085 ^{ns}	2,371 ^{ns}	648,0**	0,014 ^{ns}	53,220**	5,595 ^{ns}
H vs g	1	0,991 ^{ns}	212,496 ^{ns}	203,512 ^{ns}	0,790 ^{ns}	41,602**	0,990*
Resíduo	48	6,838	155,263	77,605	0,556	2,716	0,140
Média geral		36,78	34,24	36,73	3,73	14,34	3,57
Média dos genótipos		36,78	34,27	37,33	3,73	14,17	3,51
Média dos híbridos		36,86	33,06	38,52	3,72	13,64	3,43
Média dos genitores		36,62	36,71	34,96	3,79	15,25	3,68
Média da testemunha		36,95	33,37	22,33	3,66	18,47	4,91
CV(%)		7,10	36,39	23,98	6,31	11,48	10,48

GL: grau de liberdade; %MS: porcentagem de matéria seca; PMS: produção de matéria seca (t.ha⁻¹); NP: número de perfilhos (perfilhos.m⁻¹); ALT: altura da planta (m); DC: diâmetro do colmo (mm); LL: largura da lâmina (cm); *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste F.

O resultado da análise de variância do 3º corte evidenciou a ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) na fonte de variação tratamentos, para as características PMS e ALT; na fonte de variação genótipos, para a característica PMS; no contraste genótipos vs testemunha, para as características PMS e ALT; e no contraste híbrido vs genitores, para as características DC e LL. Além disso, foram observadas diferenças significativas ($P < 0,01$) na característica PMS, na fonte de variação genitores; na característica ALT, na fonte de variação híbridos

vs genitores; na DC, nas fontes genótipos e no contraste genótipos vs testemunha; e na LL, nas fontes tratamentos, genótipos, genitores, híbridos e o contraste genótipos vs testemunha. Já nas características %MS e NP, não ocorreram diferenças significativas (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância das seis características morfoagronômicas avaliadas no 3º corte, envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, os oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a testemunha (BAG-86). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios					
		%MS	PMS	NP	ALT	DC	LL
Blocos	2	167,576	10,819	995,856	0,082	1,398	0,221
Tratamentos	24	11,772 ^{ns}	51,764*	402,752 ^{ns}	0,158*	6,957**	0,722**
Genótipos (G)	23	11,830 ^{ns}	48,522*	367,811 ^{ns}	0,147 ^{ns}	3,156 ^{ns}	0,523**
Híbridos (H)	15	13,139 ^{ns}	26,391 ^{ns}	450,323 ^{ns}	0,109 ^{ns}	2,197 ^{ns}	0,444**
Genitores (g)	7	8,266 ^{ns}	102,111**	114,970 ^{ns}	0,135 ^{ns}	3,488 ^{ns}	0,765**
G vs T	1	10,434 ^{ns}	126,330*	1206,387 ^{ns}	0,420*	94,370**	5,292**
H vs g	1	17,057 ^{ns}	5,405 ^{ns}	897,614 ^{ns}	0,795**	15,239*	0,552*
Resíduo	48	6,973	25,835	318,550	0,086	3,041	0,099
Média geral		36,47	13,12	55,81	2,63	10,92	2,06
Média dos genótipos		36,40	12,86	56,63	2,61	10,69	2,01
Média dos híbridos		36,06	12,67	59,13	2,54	10,37	2,02
Média dos genitores		37,09	13,25	51,64	2,77	11,35	2,00
Média da testemunha		38,31	19,48	36,17	3,00	16,42	3,36
CV(%)		7,23	38,72	31,97	11,15	15,96	15,30

GL: grau de liberdade; %MS: porcentagem de matéria seca; PMS: produção de matéria seca ($t \cdot ha^{-1}$); NP: número de perfilhos ($perfilhos \cdot m^{-1}$); ALT: altura da planta (m); DC: diâmetro do colmo (mm); LL: largura da lâmina (cm); *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Os coeficientes de variação experimental (C_{Ve}) das características morfoagronômicas exibidos nas Tabelas 5, 6 e 7 apresentaram, de modo geral, menores valores na avaliação do 1º corte. No 1º corte, variando de 6,39% na característica ALT até 30,45% na característica PMS. No 2º corte, variando entre 6,31% na característica ALT a 36,39% na característica PMS. E no 3º corte, variando entre 7,23% na %MS a 38,72% na PMS.

Em seguida, verificou-se a homocedasticidade da variância dos erros, com base na relação entre o maior quadrado médio do resíduo (QMR) e o menor quadrado médio do resíduo (QMR), a saber: para a %MS, o resultado foi 3,200;

para a PMS, o valor foi de 6,378; para NP foi de 5,536; para ALT, de 1,676; para DC, de 1,146; e para LL, foi 2,151. Com isso, todos os resultados atenderam a exigência de serem menores ou iguais a sete, possibilitando que os dados do 1º, do 2º e do 3º corte fossem analisados de forma conjunta.

1.2. Análise de variância conjunta

A Tabela 8 mostra os resultados da análise de variância conjunta bem como as estimativas de média geral e dos coeficientes de variação experimental para as características morfoagronômicas avaliadas nos três cortes. Foram evidenciadas diferenças significativas, pelo teste F, entre os genótipos para todas as características morfoagronômicas avaliadas, indicando existência de variabilidade genética entre os tratamentos.

Para as características PMS, ALT e LL, verificou-se interação entre genótipos e cortes ($P < 0,01$), indicando que o comportamento dos genótipos não é consistente nos cortes, ou seja, existem diferenças entre a média dos genótipos ou na classificação de seus desempenhos, nos diferentes cortes. Para as demais características avaliadas, Tabela 8, não houve significância para este tipo de interação.

Em relação às estimativas dos coeficientes de variação experimental encontrados pela análise de variância conjunta na Tabela 8, observou-se semelhança com os valores obtidos pelas análises de variâncias individuais, Tabelas 5, 6 e 7, confirmando que as características morfoagronômicas PMS e o NP apresentaram os mais altos valores de coeficiente de variação experimental, respectivamente, 32,60%; 24,04%, seguidas por LL e DC com 14,51% e 14,17%, respectivamente. As características ligadas ao conteúdo de matéria seca %MS, juntamente com a ALT, apresentaram as menores estimativas deste coeficiente, variando de 9,28% na %MS a 6,15% na ALT. Com este valor, a característica ALT indica uma reduzida influência ambiental na manifestação de sua herança oligogênica (Hanna, 1999).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância conjunta das seis características morfoagronômicas avaliadas em três cortes envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, os oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios					
		%MS	PMS	NP	ALT	DC	LL
Blocos	2	42,11	37,42	641,78	0,39	3,47	0,11
Tratamentos (T)	24	29,83**	209,42*	481,33*	0,25**	13,32**	1,57**
Erro a	48	11,21	110,0	253,11	0,11	3,23	0,19
Cortes (C)	2	244,27 ^{ns}	9761,02**	11655,19**	26,03**	361,81**	64,03**
Erro b	4	87,39	46,46	351,08	0,094	4,49	0,218
T x C	48	12,59 ^{ns}	93,29**	127,10 ^{ns}	0,08**	2,53 ^{ns}	0,257**
Erro c	96	12,24	47,71	100,29	0,041	2,81	0,132
Média		37,67	21,18	41,64	3,30	11,84	2,50
Média dos genótipos		36,40	12,86	56,63	2,61	10,69	2,01
Média dos híbridos		36,06	12,67	59,13	2,54	10,37	2,02
Média dos genitores		37,09	13,25	51,64	2,77	11,35	2,00
Média da testemunha		38,31	19,48	36,17	3,00	16,42	3,36
CVg (%)		3,81	15,68	12,09	3,80	8,93	15,61
CV(%) erro a		8,88	49,50	38,20	10,06	15,19	17,41
CV (%) erro b		24,81	32,17	44,99	9,31	17,90	18,62
CV (%) erro c		9,28	32,60	24,04	6,15	14,17	14,51

GL: grau de liberdade; %MS: porcentagem de matéria seca; PMS: produção de matéria seca ($t \cdot ha^{-1}$); NP: número de perfilhos ($perfilhos \cdot m^{-1}$); ALT: altura da planta (m); DC: diâmetro do colmo (mm); LL: largura da lâmina (cm); *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste F.

1.3. Teste de comparação de médias

As estimativas das médias das seis características morfoagronômicas avaliadas em 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, em oito genitores e na testemunha (BAG-86), em três cortes, segundo o teste Tukey de comparação de médias a 5% de probabilidade, estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios das seis características morfoagronômicas dos 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, oito genitores de capim-elefante e da testemunha (BAG-86), em parcelas subdivididas no tempo, segundo o Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes - RJ. 2011/2012.

Genótipos/Cortes	Características					
	PMS (t/ha)			%MS		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º
H1	15,62 ab B	44,72 ab A	14,38 ab B	40,97 a A	38,93 a A	38,21 a A
H2	13,79 ab A	23,08 ab A	11,34 ab A	39,00 a A	35,94 a A	36,90 a A
H3	14,85 ab A	23,53 ab A	13,25 ab A	40,96 a A	38,84 a A	37,57 a A
H4	15,14 ab B	41,23 ab A	11,60 ab B	40,99 a A	38,40 a A	35,29 a A
H5	13,08 ab B	31,54 ab A	9,22 ab B	40,05 a A	36,32 a A	33,27 a A
H6	16,97 ab B	53,86 ab A	13,16 ab B	40,85 a A	40,71 a A	37,43 a A
H7	19,25 ab B	35,93 ab A	13,63 ab B	37,03 a A	32,61 a A	32,64 a A
H8	13,94 ab AB	26,67 ab A	10,50 ab B	41,29 a A	38,09 a A	37,41 a A
H9	15,64 ab AB	25,44 ab A	8,83 ab B	41,87 a A	36,07 a A	37,42 a A
H10	12,71 ab A	17,64 b A	7,03 ab A	40,44 a A	34,40 a AB	32,00 a B
H11	18,71 ab B	41,63 ab A	18,47 ab B	42,74 a A	38,80 a A	37,81 a A
H12	17,73 ab A	25,93 ab A	12,79 ab A	41,94 a A	36,08 a AB	34,54 a B
H13	17,53 ab A	37,72 ab A	16,74 ab B	33,89 a A	32,21 a A	35,28 a A
H14	26,31 a AB	32,45 ab A	15,98 ab B	44,15 a A	35,50 a B	39,23 a AB
H15	16,52 ab B	32,96 ab A	12,53 ab B	40,44 a A	37,49 a A	35,94 a A
H16	16,75 ab B	34,61 ab A	13,16 ab B	42,46 a A	39,37 a A	35,94 a A
Taiwan A-144	11,02 ab B	43,65 ab A	15,49 ab B	38,96 a A	35,37 a A	38,27 a A
Vruckwona	20,23 ab A	30,05 ab A	23,98 a A	40,76 a A	34,04 a A	39,35 a A
Pusa Napier nº 2	12,53 ab B	28,81 ab A	5,77 b B	31,94 a A	35,68 a A	37,06 a A
Porto Rico 534-B	20,24 ab B	61,58 a A	18,39 ab B	41,20 a A	39,26 a A	38,00 a A

Cont. Tabela 9

Genótipos/Cortes	Características					
	PMS (t/ha)			Genótipos/Cortes		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º
Mercker Santa Rita	6,18 b B	30,92 ab A	11,08 ab B	31,94 a A	37,69 a A	34,91 a A
Taiwan A-146	18,25 ab B	42,32 ab A	12,51 ab B	37,29 a A	35,57 a A	35,85 a A
Mercker S.E.A.	16,46 ab B	30,33 ab A	9,00 ab B	40,05 a A	38,84 a A	35,01 a A
Napier nº 2	14,22 ab AB	25,95 ab A	9,73 ab B	42,35 a A	36,45 a A	38,26 a A
BAG-86	21,19 ab AB	33,37 ab A	19,48 a B	40,06 a A	36,95 a A	38,30 a A

PMS: produção de matéria seca (t/ha); %MS: porcentagem de matéria seca. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Cont. Tabela 9

Genótipos/Cortes	Características					
	ALT (m)			DC (mm)		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º
H1	3,73 ab A	3,90 ab A	2,56 a B	9,77 a B	13,42 abc A	8,79 b B
H2	3,33 ab A	3,65 ab A	2,51 a B	9,66 a A	12,91 bc A	11,17 ab A
H3	3,53 ab A	3,66 ab A	2,51 a B	10,89 a A	13,19 bc A	10,77 ab A
H4	3,65 ab A	3,85 ab A	2,13 a B	9,66 a B	14,80 abc A	9,99 b B
H5	3,13 b A	3,46 ab A	2,43 a B	9,44 a B	13,27 abc A	11,46 ab AB
H6	3,58 ab A	3,90 ab A	2,63 a B	9,11 a A	11,58 c A	8,51 b B
H7	3,61 ab A	3,81 ab A	2,53 a B	11,99 a B	16,04 abc A	11,02 ab B
H8	3,45 ab A	3,70 ab A	2,58 a B	9,55 a B	14,24 abc A	11,03 ab AB
H9	3,46 ab A	3,63 ab A	2,31 a A	10,22 a AB	13,17 abc A	9,21 b B
H10	3,06 b A	3,23 b A	2,53 a B	8,89 a B	12,85 bc A	10,36 b AB
H11	3,50 ab A	3,73 ab A	2,83 a B	9,11 a B	12,57 bc A	10,26 b AB
H12	3,36 ab A	3,75 ab A	2,31 a B	12,00 a A	13,36 abc A	11,00 ab A
H13	3,71 ab A	3,93 ab A	2,66 a B	8,99 a B	15,44 abc A	10,53 b B
H14	3,61 ab A	3,61 ab A	2,91 a B	9,89 a B	13,48 abc A	10,57 b AB
H15	3,48 ab A	3,70 ab A	2,53 a B	9,94 a B	13,60 abc A	10,34 b AB
H16	3,65 ab A	3,89 ab A	2,66 a B	10,44 a B	14,27 abc A	10,85 ab B
Taiwan A-144	3,66 ab B	4,10 a A	2,95 a C	10,33 aB	14,54 abcA	11,07 ab B
Vruckwona	3,61 ab A	3,75 ab A	2,91 a B	11,11 a B	15,29 abc A	12,93 ab AB
Pusa Napier nº 2	4,00 a A	3,76 ab A	2,73 a B	11,44 a B	17,54 ab A	12,57 ab B
Porto Rico 534-B	3,93 a A	4,03 a A	3,05 a B	11,77 a B	16,95 abc A	11,68 ab B
Mercker Santa Rita	3,50 ab A	3,31 ab A	2,83 a B	9,00 a B	15,76 abc A	10,35 b B
Taiwan A-146	3,70 ab A	4,00 ab A	2,63 a B	11,22 a B	15,57 abc A	11,71 ab B
Mercker S.E.A.	3,43 ab A	3,58 ab A	2,61 a B	9,77 a A	12,87 bc A	10,57 b A
Napier nº 2	3,41 ab A	3,73 ab A	2,40 a B	10,66 a AB	13,49 abc A	9,86 b B
BAG-86	3,45 ab A	3,66 ab A	3,00 a B	11,44 a B	18,47 a A	16,42 a A

ALT: altura da planta (m); DC: diâmetro do colmo (mm). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Cont. Tabela 9

Genótipos/Cortes	Características					
	LL (cm)			NP (perfilhos/m)		
	1º	2º	3º	1º	2º	3º
H1	1,53 b B	3,43 b A	1,96 bcdef B	37,66 ab B	51,33 a AB	61,33 a A
H2	1,73 b B	3,26 b A	2,26 bcde B	29,66 ab A	32,0 ab A	46,66 a A
H3	1,70 b B	3,32 b A	2,36 abcde B	36,0 ab B	46,0 ab A	66,66 a A
H4	1,76 b B	3,56 b A	1,13 f B	28,66 ab B	35,33 ab B	75,33 a A
H5	1,86 b C	3,41 b A	2,56 abc B	32,0 ab A	38,33 ab A	50,0 a A
H6	1,60 b B	3,20 b A	1,86 cdef B	39,0 ab B	45,66 ab B	75,6 a A
H7	1,63 b B	3,36 b A	1,7 cdef B	34,0 ab B	26,33 ab B	64,66 a A
H8	1,40 b C	3,51 b A	2,26 bcde B	28,66 ab B	34,0 ab B	53,66 a A
H9	1,33 b B	3,27 b A	2,03 bcdef B	36,0 ab A	36,66 ab A	46,66 a A
H10	2,36 ab B	3,51 b A	2,5 abcd B	32,33 ab A	31,66 ab A	37,33 a A
H11	1,80 b B	3,73 ab A	2,4 abcde B	42,66 a A	48,0 a A	57,1 a A
H12	1,46 b B	3,18 b A	1,43 ef B	34,0 ab B	41,0 ab B	82,66 a A
H13	1,63 b B	3,10 b A	1,76 cdef B	37,66 ab B	42,33 ab B	62,0 a A
H14	2,76 ab B	4,04 ab A	1,86 cdef C	42,66 a A	29,0 ab A	46,66 a A
H15	1,76 b B	3,42 b A	2,03 bcdef B	34,66 ab B	38,33 ab B	58,4 a A
H16	1,83 b B	3,59 b A	2,13 bcdef B	36,66 ab B	40,33 ab B	61,33 a A
Taiwan A-144	1,46 b B	3,69 ab A	1,96 bcdef B	16,0 b B	32,66 ab AB	48,0 a A
Vruckwona	2,60 ab B	3,99 ab A	2,93 ab B	31,0 ab A	44,0 ab A	49,66 a A
Pusa Napier nº 2	1,36 b B	3,37 b A	1,6 cdef B	15,66 b B	17,0 b B	42,33 a A
Porto Rico 534-B	1,60 b B	3,73 ab A	1,50 def B	36,0 ab B	47,33 a AB	64,33 a A
Mercker Santa Rita	2,83 ab B	3,82 ab A	2,03 bcdef C	30,66 ab B	36,0 ab AB	52,33 a A
Taiwan A-146	1,96 b B	3,44 b A	1,43 ef B	30,0 ab B	37,66 ab AB	52,43 a A
Mercker S.E.A.	1,93 b B	3,81 ab A	2,2 bcde B	34,0 ab A	34,33 ab A	51,0 a A
Napier nº 2	1,60 b C	3,58 b A	2,3 bcde B	29,66 ab B	30,66 ab B	53,0 a A
BAG-86	3,76 a B	4,91 a A	3,36 a B	25,0 ab A	22,33 ab A	36,16 a A

LL: largura da lâmina (cm); NP: número de perfilhos. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à PMS, característica mais importante da cultura, a média observada foi de 21,18 t.ha⁻¹, média próxima à encontrada por Botrel et al., (2000) e Oliveira (2013) e baixa, se comparada à verificada por Flores et al. (2012). Foi constatado que em relação ao 1º corte, esse valor variou entre 26,31 t.ha⁻¹, no híbrido H14, e 6,18 t.ha⁻¹, no genitor Mercker Santa Rita. Além disso, foi observado que apenas esses genótipos foram estatisticamente diferentes entre si. Rossi (2010) observou média de 27,76 t.ha⁻¹ no genótipo Mercker Santa Rita. Em relação ao 2º corte, a média oscilou entre 61,58 t.ha⁻¹ no genitor Porto Rico 534-B, e 17,64 t.ha⁻¹, no híbrido H10. Assim como no 1º corte, as médias não diferiram entre si estatisticamente, a não ser entre o genitor Porto Rico 534-B e o híbrido H10. Além disso, observou-se que os genótipos H1, H4, H6, H11, Taiwan A-144, Porto Rico 534-B, Taiwan A-146 e BAG-86 obtiveram os maiores valores médios. Oliveira (2013) observou média anual de 47,95 Mg.ha⁻¹ no genótipo Porto Rico 534-B, e Rossi (2010) observou média de 39,48 t.ha⁻¹ nesse mesmo genótipo. No 3º corte, o valor médio variou entre 23,39 t.ha⁻¹, no Vruckwona, e 5,77 t.ha⁻¹, no Pusa Napier nº 2. Foi observado que as médias foram estatisticamente diferentes apenas entre os genótipos Vruckwona, com média de 23,98 t.ha⁻¹, e BAG-86, com média de 19,48 t.ha⁻¹, as maiores observadas; e o genitor Pusa Napier nº 2, com média de 5,77 t.ha⁻¹, teve a menor média observada. Oliveira (2013) observou médias anuais de 34,40 Mg.ha⁻¹, 39,80 Mg.ha⁻¹ e 24,10 Mg.ha⁻¹ nos genótipos BAG-86, Vruckwona e Pusa Napier nº 2, respectivamente.

Já na análise das médias horizontalmente, observou-se que os genótipos H11, H13, H14, Vruckwona, Porto Rico 534-B e o BAG-86 se destacaram por apresentar desempenho favorável nos três cortes. O genitor Porto Rico 534-B e a testemunha BAG-86 são dois genótipos que podem ser utilizados em programas de melhoramento para utilização como insumo energético, sobretudo em função da alta PMS.

Queiroz Filho et al. (2000), ao avaliarem a produção total de matéria seca da cultivar Roxo em diferentes idades de cortes, obtiveram média de 30,9 t.ha⁻¹ aos 100 dias. Andreoli (2008) afirmou que com baixo uso de insumos e investimentos, a produção de matéria seca gerada da biomassa do capim-elefante pode atingir em torno de 20 a 25 t.ha⁻¹. Recentes pesquisas com outros genótipos de capim-elefante mostraram que alguns materiais podem atingir médias maiores para a produção de matéria de seca. Moraes et al. (2009), ao

avaliarem cinco genótipos de capim-elefante destinados à produção de bioenergia, obtiveram médias de 45 t.ha⁻¹ a 67 t.ha⁻¹ na produção de matéria seca. Rossi (2010), ao avaliar as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa de cinquenta e dois acessos de capim-elefante para fins energéticos no norte fluminense, observou média de 28,53 t.ha⁻¹. Barbé (2012), ao avaliar diferentes ciclos de produção, encontrou médias de 20,50 t.ha⁻¹ a 23,77 t.ha⁻¹ com 20 e 24 semanas de idade, respectivamente. Flores et al. (2012), ao pesquisarem a respeito do desempenho dos genótipos Paraíso e Roxo para produção de biomassa para o uso energético, nas condições edafoclimáticas do Cerrado, obtiveram média acima de 30 t.ha⁻¹, independentemente da fertilização, de modo semelhante à produção obtida por Oliveira (2012), que, ao avaliar seis genótipos de capim-elefante submetidos a diferentes níveis de adubação nitrogenada, encontrou média de 35,03 t.ha⁻¹. Oliveira (2013), ao avaliar a produtividade de 73 acessos de capim-elefante cultivados para fins energéticos em Campos Goytacazes – RJ, observou média de 21,44 Mg.ha⁻¹ no 1º corte e 10,86 Mg.ha⁻¹ no 2º corte.

Na característica %MS, a média observada foi de 37,67%, Tabela 8, valor próximo das médias observadas por Rossi (2010) e Barbé (2012), de 37,16% e 36,08%, respectivamente. Na Tabela 9, observou-se que, no 1º corte, a média dos genótipos variou entre 44,15%, no híbrido H14 e 31,94%, nos genótipos Pusa Napier nº 2 e no Mercker Santa Rita. Em relação ao 2º corte e ao 3º corte, o comportamento dos genótipos não foi alterado, sendo que no 2º corte a média variou entre 40,71%, no híbrido H6 e 32,21%, no híbrido H13. No 3º corte, a média variou entre 39,23%, no híbrido H14, e 32%, no híbrido H10. Nos três cortes, não foram detectadas diferenças entre os genótipos. De um modo geral, ao analisar os três cortes, as médias horizontais, apenas os híbridos H10, H12 e H14 tiveram alteração nos cortes.

De acordo com os resultados para a característica ALT, Tabela 8, observou-se que a média foi de 3,30 m, semelhante aos trabalhos de Rossi (2010) e Barbé (2012). Já na Tabela 9, ao analisar as médias verticalmente, com base nas letras minúsculas, observou-se que, no 1º corte, a média variou entre 4,00 m, no genitor Pusa Napier nº 2, e 3,06 m, no híbrido H10. Os híbridos H5 e H10, com médias de 3,13 m e 3,06 m, respectivamente, diferiram dos genótipos Pusa Napier nº 2 e Porto Rico 534-B, com médias de 4,00 m e 3,93m,

respectivamente, que se destacaram por apresentar as maiores médias observadas. No 2º corte, a média variou entre 4,10 m e 3,23 m. Neste corte, os genótipos Taiwan A-144, com média de 4,10 m, e Porto Rico 534-B, com média de 4,03 m, diferiram estatisticamente do híbrido H10, cuja média foi de 3,23 m. No 3º corte, a média variou entre 3,05 m, no Porto Rico 534-B, e 2,13 m, no híbrido H4. Neste corte, não foram detectadas diferenças entre os genótipos. Além disso, analisou-se o comportamento médio dos genótipos nos três cortes sucessivos, com base nas médias horizontais, e se observou que o híbrido H9 foi o único que não diferiu entre os três cortes. No entanto, os genótipos H11, H14, Taiwan A-144, Vruckwona, Porto Rico 534-B, Mercker Santa Rita e BAG-86 apresentaram os maiores valores médios entre os três cortes. Por ser a altura das plantas do capim-elefante uma característica importante, segundo Xia et al. (2010), ela é positivamente correlacionada com a produção de matéria seca.

O DC é uma característica importante, uma vez que, além de apresentar correlação positiva com produção de matéria seca (Xia et al., 2010), apresenta efeito direto sobre esta característica (Daher et al., 2004). No presente trabalho, o valor médio para esta característica, Tabela 8, foi de 11,84 mm, inferior à média observada no trabalho de Barbé (2012). A Tabela 9 mostra os valores médios dos genótipos nos três cortes. Foram observados a divisão dos grupos e os valores limites da característica. No 1º corte, a média variou entre 12,00 mm, no H12, e 8,89 mm, no H10, não tendo sido detectadas diferenças entre os genótipos. No 2º corte, a média variou entre 18,47 mm, no BAG-86, e 11,58 mm, no H6. É oportuno destacar os híbridos H1, H4, H5, H7, H8, H9, H12, H13, H14, H15, H16, todos eles genitores, com exceção do Mercker S. E. A. e da testemunha, cujas médias não diferiram entre si. Já no 3º corte, a média oscilou entre 16,42 mm, no BAG-86, e 8,51 mm, no H6. Foram detectadas diferenças entre os genótipos com os seguintes valores médios: H1 (8,79 mm), H4 (9,99 mm) H6 (8,51 mm), H9 (9,21mm), H10 (10,36 mm), H11 (10,26 mm), H13 (10,53 mm), H14 (10,57 mm), H15 (10,34 mm), Mercker Santa Rita (10,35 mm), Mercker S. E. A. (10,57 mm), Napier nº 2 (9,86 mm) e o BAG-86 (16,42 mm). Além disso, após analisar o comportamento dos genótipos nos sucessivos cortes, observou-se que os híbridos H3, H7, H12, H16, Taiwan A-144, Vruckwona, Pusa Napier nº 2, Porto Rico 534-B, Taiwan A-146 e o BAG-86 se destacaram com os maiores valores médios entre os cortes.

Na LL, a média observada foi de 2,50 cm, em trabalhos de Zhang et al., (2010) e Silva (2011), as médias foram superiores à deste trabalho. O valor médio oscilou de 3,76 cm, no genótipo BAG-86 (testemunha), e 1,33 cm, no híbrido H9, no 1º corte. Nos genótipos H10, H14, Vruckwona, Mercker Santa Rita e BAG-86, as médias não diferiram estatisticamente entre si. No 2º corte, todos os genótipos tiveram valores médios superiores aos do 1º corte. A média variou de 4,91 cm, no BAG-86, a 3,10 cm, no H13. Entre os genótipos H11 (3,73 cm), H14 (4,04 cm), Taiwan A-144 (3,69 cm), Vruckwona (3,99 cm), Porto Rico 534-B (3,73 cm), Mercker Santa Rita (3,82 cm), Mercker S. E. A. (3,81 cm) e BAG-86 (4,91 cm), não foram detectadas diferenças entre os valores médios. No 3º corte, a média variou de 3,36 cm, no BAG-86, a 1,13 cm, no H4. Para esse corte, os híbridos H3, H5, H10, H11, o genitor Vruckwona e a testemunha (BAG-86) apresentaram os maiores valores médios e não diferiram entre si.

O valor médio do NP apresentado na Tabela 8 foi de 41,64 perfilhos/m, valor próximo ao observado no trabalho de Rossi (2010) e superior aos trabalhos de Pereira et al. (2006a), Silva et al. (2010) e Barbé (2012). No 1º corte, a média da característica variou entre 42,66 perfilhos/m, nos híbridos H11 e H14, a 15,56 perfilhos/m, no genitor Pusa Napier nº 2. Os genótipos H11, H14 e Taiwan A-144, Pusa Napier nº 2 foram diferentes estatisticamente. No 2º corte, a média variou de 51,33 perfilhos/m, no H1 a 17,0 perfilhos/m, no genitor Pusa Napier nº 2. Os genótipos apresentaram valores muito próximos entre si, com exceção dos genótipos H1, H11, Porto Rico 534-B e Pusa Napier nº 2, que diferiram entre si em seus valores médios. Já no 3º corte, a variação da média foi de 82,66 perfilhos/m, no H12, a 36,16 perfilhos/m, no BAG-86. Neste corte, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os genótipos avaliados. Além disso, ao observar as médias horizontalmente, os genótipos que mantiveram um comportamento uniforme, sem influência do corte, foram H11, H13, H14, Vruckwona e Porto Rico 534-B.

De modo geral, neste trabalho, os melhores híbridos foram aqueles que apresentaram médias mais elevadas para a maioria das características, com desempenho estável para cortes, visto que o interessante não só para o produtor, mas como para as empresas que querem ter a cultura como matéria prima para geração de energia, é que os genótipos tenham desempenho mais estável durante os diferentes cortes. Assim, os melhores híbridos devem ser apontados

em função das médias obtidas na análise conjunta. Portanto, pode-se afirmar que os híbridos H11, H13 e H14 obtiveram os melhores resultados.

2. Análise das características da qualidade da biomassa

2.1. Análise de variância individual de cada corte

A Tabela 11 mostra o resultado da análise de variância das características da qualidade da biomassa avaliadas no 1º corte envolvendo os vinte e cinco tratamentos, entre eles os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais, os 8 genitores de capim-elefante e a testemunha (BAG-86). Evidenciou-se diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F, para a característica %FDN, nas fontes de variação tratamentos e genótipos, e para a característica %CEL, na fonte de variação genitores. Foram significativas ao nível de 5% as características %CIN e %FDA, nas fontes de variação tratamentos, genótipos, genitores e o contraste Híbridos vs genitores (H vs g); %FDN, nas fontes de variação híbridos e genitores; %CEL, nas fontes tratamentos, genótipos e no contraste H vs g; e %HEM, nas fontes tratamentos, genótipos e híbridos. A característica %LIG foi não significativa em todas as fontes de variação.

Com relação aos coeficientes de variação experimental (C_{Ve}), as características %FDN, %HEM, %CEL, e %FDA apresentaram valores reduzidos de coeficiente de variação experimental, 2,13%, 2,56%, 2,72% e 3,14%, respectivamente. Embora a característica %LIG não tenha sido significativa, o valor do (C_{Ve} = 6,84%) foi menor que o C_{Ve} da %CIN, cujo valor foi igual a 14,09%.

Tabela 10: Valores médios dos três cortes das seis características morfoagronômicas avaliadas em 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos entre oito genótipos de capim-elefante, segundo o Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

Genótipos	ALT		DC		LL		NP		%MS		PMS	
H1 (1x5)	3,4	abc	10,66	bcd	2,31	cd	50,07	ab	39,37	ab	24,91	ab
H2 (1x6)	3,16	abc	11,25	bcd	2,41	bcd	36,07	ab	37,28	ab	16,07	ab
H3 (1x7)	3,23	abc	11,62	bcd	2,46	bcd	49,62	ab	39,12	ab	12,21	ab
H4 (1x8)	3,21	abc	11,49	bcd	2,16	cd	46,51	ab	38,23	ab	22,66	ab
H5 (2x5)	3,01	bc	11,39	bcd	2,61	bcd	40,11	ab	36,54	ab	17,94	ab
H6 (2x6)	3,37	abc	9,73	d	2,21	cd	53,38	a	39,66	ab	28,00	ab
H7 (2x7)	3,32	abc	13,02	abc	2,24	cd	41,66	ab	34,1	ab	22,94	ab
H8 (2x8)	3,24	abc	11,61	bcd	2,38	cd	38,70	ab	38,93	ab	17,04	ab
H9 (3x5)	3,13	abc	10,87	bcd	2,22	cd	39,77	ab	38,45	ab	16,64	ab
H10 (3x6)	2,94	c	10,70	bcd	2,78	bcd	33,81	ab	35,61	ab	12,46	b
H11 (3x7)	3,35	abc	10,65	cd	2,63	bcd	49,17	ab	39,78	a	26,27	ab
H12 (3x8)	3,14	abc	12,12	bcd	2,03	d	52,55	ab	37,52	ab	18,82	ab
H13 (4x5)	3,43	abc	11,65	bcd	2,16	cd	47,37	ab	33,79	b	24,00	ab
H14 (4x6)	3,38	abc	11,31	bcd	2,89	bc	39,44	ab	39,63	ab	24,91	ab
H15 (4x7)	3,24	abc	11,29	bcd	2,39	cd	43,82	ab	37,96	ab	20,67	ab
H16 (4x8)	3,40	abc	11,85	bcd	2,51	bcd	46,10	ab	39,26	ab	21,50	ab
Taiwan A-144 (P1)	3,57	ab	11,98	bcd	2,37	cd	32,22	ab	37,53	ab	23,38	ab
Vruckwona (P2)	3,42	abc	13,11	abc	3,17	b	41,51	ab	38,05	ab	24,75	ab
Pusa Napier nº 2 (P3)	3,5	abc	13,85	ab	2,11	d	24,96	b	34,89	ab	15,70	ab
Porto Rico 534-B (P4)	3,67	a	13,47	abc	2,28	cd	49,14	ab	39,48	ab	33,40	a
Mercker Santa Rita (P5)	3,21	abc	11,70	bcd	2,89	bc	39,66	ab	34,84	ab	16,06	ab
Taiwan A-146 (P6)	3,44	abc	12,83	abcd	2,28	cd	40,03	ab	36,23	ab	24,36	ab
Mercker S.E.A. (P7)	3,21	abc	11,07	bcd	2,65	bcd	39,77	ab	37,97	ab	18,60	ab
Napier nº 2 (P8)	3,18	abc	11,33	bcd	2,49	bcd	37,74	ab	39,02	ab	16,63	ab
BAG-86 (T)	3,37	abc	15,44	a	4,01	a	27,72	ab	38,44	ab	24,68	ab

ALT: altura da planta (m); DC: diâmetro do colmo (mm); LL: largura da lâmina (cm); NP: número de perfilhos (perfilhos/m); %MS: porcentagem de matéria seca; PMS: produção de matéria seca (t/ha). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância das seis características da qualidade da biomassa avaliadas no 1º corte, envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos, os oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a testemunha (BAG-86). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios					
		%CIN	%FDN	%FDA	%CEL	%HEM	%LIG
Blocos	2	3,446	8,746	1,448	0,294	5,106	1,245
Tratamentos	24	0,709*	6,368**	4,80*	2,616*	1,052*	0,553 ^{ns}
Genótipos (G)	23	16,777*	6,464**	4,629*	2,611*	1,070*	0,552 ^{ns}
Híbridos (H)	15	0,595 ^{ns}	5,388*	2,941 ^{ns}	1,215 ^{ns}	1,202*	0,463 ^{ns}
Genitores (g)	7	0,901*	8,282*	7,178*	4,786**	0,858 ^{ns}	0,691 ^{ns}
G vs testemunha	1	0,255 ^{ns}	4,149 ^{ns}	8,729 ^{ns}	2,742 ^{ns}	0,639 ^{ns}	0,591 ^{ns}
H vs g	1	1,538*	9,880 ^{ns}	12,104*	8,308*	0,567 ^{ns}	0,908 ^{ns}
Resíduos	48	0,376	2,780	2,463	1,202	0,533	0,358
Média geral		4,35	78,44	49,99	40,25	28,51	8,76
Média dos genótipos		4,36	78,49	50,06	40,29	28,49	8,77
Média dos híbridos		4,47	78,23	49,78	40,06	28,56	8,70
Média dos genitores		4,16	79,01	50,65	40,78	28,37	8,94
Média da testemunha		4,07	77,29	48,32	39,32	28,96	8,33
CVe(%)		14,09	2,13	3,14	2,72	2,56	6,84

GL: grau de liberdade; %CIN: porcentagem de cinza; %FDN: porcentagem de fibra em detergente neutro; %FDA: porcentagem de fibra em detergente ácido; %CEL: porcentagem de celulose; %HEM: porcentagem de hemicelulose; %LIG: porcentagem de lignina; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo Teste F.

No 2º corte, ocorreram diferenças em relação ao 1º corte como no caso das características que antes foram significativas e no 2º corte foram não significativas como para a %CIN e %HEM e também para %LIG, que antes não havia sido significativa e neste corte foi significativa a 5% nas fontes de variação tratamentos, genótipos e híbridos. Além disso, foi observada diferença significativa a 1% de probabilidade para as características %FDN, %FDA e %CEL, nas fontes de variação tratamentos, genótipos e híbridos. Além disso, as características %FDN e %CEL também foram significativas na fonte de variação genitores (Tabela 12).

Quanto aos valores dos coeficientes de variação experimental (CVe), também ocorreram alterações, tendo sido observada uma ordem crescente de valores, de modo que a %FDN apresentou o menor valor (1,61%) seguida das características %CEL (CVe = 2,49%), %HEM (CVe = 2,86%), %FDA (CVe = 3,19%). Já as características %LIG e %CIN apresentaram mais uma vez os valores mais altos de CVe 10,86% e 18,04%, respectivamente.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância das seis características da qualidade da biomassa avaliadas no 2º corte, envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos, os oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a testemunha (BAG-86). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios					
		%CIN	%FDN	%FDA	%CEL	%HEM	%LIG
Blocos	2	0,010	7,808	12,365	7,569	0,304	0,086
Tratamentos	24	1,145 ^{ns}	5,940**	7,474**	4,132**	0,914 ^{ns}	1,457*
Genótipos (G)	23	1,162 ^{ns}	6,104**	7,747**	4,171**	0,945 ^{ns}	1,516*
Híbridos (H)	15	0,918 ^{ns}	6,246**	7,645**	3,760**	0,993 ^{ns}	1,587*
Genitores (g)	7	1,627 ^{ns}	5,510**	8,214*	4,559**	0,974 ^{ns}	1,581 ^{ns}
G vs testemunha	1	0,760 ^{ns}	2,159 ^{ns}	1,211 ^{ns}	3,232 ^{ns}	0,206 ^{ns}	0,100 ^{ns}
H vs g	1	1,565 ^{ns}	8,192*	5,990 ^{ns}	7,670*	0,122 ^{ns}	0,135 ^{ns}
Resíduos	48	0,760	1,713	2,945	1,265	0,606	0,726
Média geral		4,83	81,06	53,84	45,15	27,26	7,84
Média dos genótipos		4,85	81,09	53,87	45,19	27,27	7,83
Média dos híbridos		4,96	80,86	53,67	44,97	27,26	7,84
Média dos genitores		4,65	81,57	54,28	45,66	27,29	7,85
Média da testemunha		4,34	80,23	53,22	44,13	27,00	8,02
CV(%)		18,04	1,61	3,19	2,49	2,86	10,86

GL: grau de liberdade; %CIN: porcentagem de cinza; %FDN: porcentagem de fibra em detergente neutro; %FDA: porcentagem de fibra em detergente ácido; %CEL: porcentagem de celulose; %HEM: porcentagem de hemicelulose; %LIG: porcentagem de lignina; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo Teste F.

Houve homocedasticidade da variância do erro, com base na relação entre o maior quadrado médio do resíduo (QMR) e o menor quadrado médio do resíduo (QMR): para a %CIN, o resultado foi 2,034; para a %FDN, o valor foi de 1,444; para %FDA, de 1,219; para %CEL, de 1,189; para %HEM, de 1,141; e para %LIG, de 2,350. Estes resultados atenderam a exigência de serem menor ou igual a sete, possibilitando que os dados do 1º e do 2º corte fossem analisados de forma conjunta.

2.2. Análise de variância conjunta

A Tabela 13 mostra os resultados da análise de variância conjunta bem como as estimativas da média geral e dos coeficientes de variação experimental para as características da qualidade da biomassa avaliadas nos dois cortes. De acordo com os resultados, ocorreram diferenças significativas, pelo teste F entre

Tabela 13 – Resumo da análise de variância conjunta das seis características da qualidade da biomassa com base em dois cortes de avaliação, envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos, oito genitores de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e a testemunha (BAG-86). Campos dos Goytacazes – RJ. 2011/2012.

FV	g.l.	Quadrados Médios					
		%CIN	%FDN	%FDA	%CEL	%HEM	%LIG
Blocos	2	1,5633	0,5418	3,0920	2,6596	3,3695	0,9834
Genótipos (G)	24	1,1494*	6,8162**	8,5050**	5,1186**	1,0135 ^{ns}	1,1472*
Erro a	48	0,6158	2,8619	3,4196	1,5699	0,6608	0,5917
Cortes (C)	1	8,6040 ^{ns}	257,2054*	556,2288*	899,2483**	58,6312*	31,3547*
Erro b	2	1,8933	16,0122	10,7221	5,2038	2,0414	0,3485
Interação (GxC)	24	0,7058 ^{ns}	5,4922**	3,7697*	1,6305*	0,9529*	0,8641*
Erro c	48	0,5215	1,6322	1,9897	0,8979	0,4791	0,4935
Média		4,5953	79,7517	51,9236	42,7052	27,8858	8,3045
CV (%) erro a		17,0774	2,1212	3,5614	2,934	2,9151	9,2633
CV (%) erro b		29,943	5,0175	6,3063	5,3417	5,1237	7,1092
CV (%) erro c		15,7154	1,6019	2,7166	2,219	2,4822	8,4593

g.l.: grau de liberdade; %CIN: porcentagem de cinza; %FDN: porcentagem de fibra em detergente neutro; %FDA: porcentagem de fibra em detergente ácido; %CEL: porcentagem de celulose; %HEM: porcentagem de hemicelulose; %LIG: porcentagem de lignina; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo Teste F.

os genótipos em quase todas as características avaliadas, com exceção para %HEM, o que indica a existência de variabilidade genética entre os tratamentos.

Além disso, observou-se que entre os cortes ocorreram diferenças significativas a 1% na %CEL e a 5% de probabilidade nas características %FDN, %FDA, %HEM e %LIG e ausência de significância na %CIN. Na interação genótipos x cortes (G x C), ocorreram diferenças na característica %FDN a 1% de probabilidade e nas características %FDA, %CEL, %HEM, %LIG a 5% de probabilidade. Estes resultados indicam que alguns genótipos sofreram influência do corte, permitindo que apresentassem desempenho diferente. Na característica %CIN, novamente foi constatada ausência de significância.

Neste tipo de análise, existem três tipos de erros, cada erro relacionado a uma fonte da variação, ou seja, o CV (%) do erro a está relacionado aos genótipos, o do erro b está ligado aos cortes e do erro c está vinculado à interação (G x C). Neste estudo, foram considerados apenas os coeficientes de variação do erro a, cujos valores variaram entre 17,07% na %CIN a 2,12% na %FDN.

A precisão experimental foi maior na avaliação das características da qualidade da biomassa quando comparadas com as características morfoagronômicas, indicando haver maior número de genes atuando na manifestação das características relacionadas à produção de matéria seca.

Pelo fato de a maioria das características avaliadas terem apresentado um grau de significância em relação à interação (GxC), ou seja, algumas características terem apresentado um comportamento diferente em relação aos dois cortes, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias das características avaliadas. Ou seja, comparar as seis características de cada genótipo dentro de cada corte (letras minúsculas) e dentro de cada genótipo nos dois cortes (letras maiúsculas), cujo resultado se encontra na Tabela 14.

2.3. Teste de comparação de médias

Considerando a característica %CIN, Tabela 13, a média observada foi de 4,59%. Na Tabela 14, após analisar as médias verticalmente, observou-se que no 1º corte a média variou entre 5,42%, no H12, a 3,26%, no genitor Porto Rico 534-

B. Além disso, foram detectadas diferenças entre os genótipos H12, H13, cujas médias foram 5,42%, 5,39%, respectivamente. O genitor Porto Rico 534-B apresentou média de 3,26%. No 2º corte, o valor médio de cada genótipo foi superior ao do 1º corte, com exceção dos híbridos H4, H8, H13 e dos genitores Mercker Santa Rita e Napier nº 2, que apresentaram redução dos seus respectivos valores médios. Além disso, não foram detectadas diferenças entre os genótipos. Ao analisar os dois cortes ao mesmo tempo, ou seja, nas médias horizontais, observou-se que o híbrido H5, H11, H12 e o genitor Mercker S. E. A. se destacaram entre os cortes, uma vez que foi constatado que eles apresentaram melhor desempenho no 2º corte, no qual eles apresentaram as médias mais elevadas, 5,30%, 5,40%, 5,76% e 5,52%, respectivamente.

Na característica %FDN, reconhecidamente de grande importância na avaliação das plantas forrageiras, pelo fato de estar ligada ao potencial de consumo, a média observada foi de 79,75% (Tabela 13). No 1º corte, constatou-se que o híbrido H16, com média 74,55%, e o genitor Vruckwona, com média de 75,85%, diferiram do genitor Pusa Napier nº 2, com média de 81,67%, sendo esta a maior média observada. No 2º corte, a média dos genótipos foi superior à do 1º corte, variando de 84,63% a 78,68%. O híbrido H16, com média de 84,63%, diferiu estatisticamente dos genótipos H2, H5, H7, H9, H10, H12, H14, Vruckwona, Taiwan A-146 e BAG-86, cujas médias variaram entre 80,48% e 78,68%. Ao analisar o comportamento dos genótipos nos dois cortes, verificou-se que entre os 25 tratamentos, os híbridos H2, H3, H4, H5, H10, H11, H12, H14 e os genitores Pusa Napier nº 2, Taiwan A-146, Mercker S. E. A. não sofreram influência do corte.

Em relação à %FDA, característica relacionada com a digestibilidade da matéria seca, a média foi de 51,92% (Tabela 13). Na Tabela 14, apenas os genitores Vruckwona, com média de 47,38%, e Pusa Napier nº 2, com média de 52,58%, diferiram entre si. Diferentemente do que ocorreu no 1º corte, no 2º corte foi verificado que os híbridos H9, H10, H14 e o genitor Vruckwona diferiram do genitor Taiwan A-144, cuja média foi de 57,33%. Na análise simultânea dos cortes assim como na %FDN, na %FDA, os genótipos apresentaram médias mais elevadas no 2º corte, e apenas os genótipos H3, H10 e Taiwan A-146 não diferiram entre os cortes.

Na característica %CEL, a média observada foi de 42,70% (Tabela 13). Em relação ao 1º corte, na Tabela 14, a média variou entre 43,19% e 38,53%. Foram constatadas diferenças entre os genótipos H5, H7, H9, H14, H16, Vruckwona, BAG-86 e o genitor Pusa Napier nº 2, que apresentou o maior valor médio observado. No 2º corte, os híbridos H2, H7, H9, H10, H14, Vruckwona e o BAG-86 diferiram estatisticamente do genitor Taiwan A-144, cuja média foi de 47,74%. Ao analisar os dois cortes em conjunto, observou-se que todos os genótipos apresentaram maior teor de celulose na matéria seca do 2º corte.

A média para a %HEM foi de 27,88% (Tabela 13). Nesta característica, a média variou de 29,73% a 27,20%. Os híbridos H11 e H14, com médias de 29,73% e 29,60%, respectivamente, foram diferentes estatisticamente do híbrido H16, cuja média observada foi de 27,20%. No 2º corte, a média variou de 28,45% a 26,22%. Os genótipos apresentaram valores médios mais baixos se comparados ao 1º corte. Além disso, não foram detectadas diferenças entre os genótipos estudados. Já na análise dos dois cortes, para esta característica, os resultados foram melhores no 1º corte, e alguns genótipos como H3, H7, H9, H10, Vruckwona, Porto Rico 534-B, Taiwan A-146, Mercker S. E. A. e Napier nº 2 não sofreram influência do corte, ou seja, os valores médios dos dois cortes foram iguais estatisticamente.

Para a característica %LIG, a média observada foi de 8,30% (Tabela 13). Na comparação das médias, os genótipos não diferiram no 1º corte, enquanto no 2º corte, foram observadas algumas diferenças e, neste caso, os híbridos H6, H8 e o genitor Taiwan A-144 diferiram do híbrido H10, cuja média foi de 6,24%. Ao analisar o comportamento dos genótipos nos dois cortes simultaneamente, observou-se que eles apresentaram maior teor de lignina na matéria seca do 1º corte. Nos híbridos H1, H4, H5, H6, H7, H8, H12, H13, H15, H16 e nos genitores Taiwan A-144, Porto Rico 534-B, Mercker Santa Rita e BAG-86, as médias do teor de lignina não diferiram entre os cortes.

Tabela 14 - Valores médios das seis características da qualidade da biomassa dos 16 híbridos, dos oito genitores de capim-elefante e da testemunha (BAG-86), segundo o Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Campos dos Goytacazes - RJ. 2011/2012.

Genótipos / Cortes	Características																	
	%CIN						%FDN						%FDA					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	5º	6º
H1	4,11	ab	A	4,65	a	A	77,97	abc	B	81,7	abc	A	49,63	ab	B	54,82	ab	A
H2	4,66	ab	A	5,01	a	A	79,13	abc	A	80,05	bc	A	50,38	ab	B	52,85	ab	A
H3	4,31	ab	A	5,14	a	A	79,63	abc	A	81,56	abc	A	51,78	ab	A	53,91	ab	A
H4	4,87	ab	A	4,83	a	A	79,52	abc	A	80,77	abc	A	50,93	ab	B	54,33	ab	A
H5	4,44	ab	A	5,30	a	A	78,54	abc	A	80,48	bc	A	49,48	ab	B	53,44	ab	A
H6	3,86	ab	A	4,25	a	A	77,62	abc	B	81,71	abc	A	48,78	ab	B	56,02	ab	A
H7	3,96	ab	B	5,74	a	A	76,47	abc	B	79,72	bc	A	48,58	ab	B	52,53	ab	A
H8	4,6	ab	A	3,87	a	A	79,37	abc	B	82,77	abc	A	50,78	ab	B	56,21	ab	A
H9	4,20	ab	A	4,85	a	A	77,62	abc	B	79,82	bc	A	49,23	ab	B	51,61	b	A
H10	4,23	ab	A	5,32	a	A	78,93	abc	A	78,68	c	A	50,67	ab	A	51,25	b	A
H11	4,38	ab	A	5,40	a	A	79,80	abc	A	80,81	abc	A	50,07	ab	B	53,03	ab	A
H12	5,42	A	A	5,76	a	A	78,40	abc	A	79,67	bc	A	49,52	ab	B	52,54	ab	A
H13	5,39	A	A	4,13	a	B	78,10	abc	B	81,21	abc	A	49,82	ab	B	54,64	ab	A
H14	4,15	ab	B	5,48	a	A	77,47	abc	A	79,50	bc	A	47,87	ab	B	51,84	b	A
H15	4,47	ab	A	4,90	a	A	78,47	abc	B	80,60	abc	A	49,83	ab	B	53,50	ab	A
H16	4,43	ab	A	4,66	a	A	74,55	c	B	84,63	a	A	49,01	ab	B	56,18	ab	A
Taiwan A-144	4,41	ab	A	4,95	a	A	79,16	abc	B	83,56	ab	A	51,07	ab	B	57,33	a	A
Vruckwona	4,08	ab	B	5,55	a	A	75,85	bc	B	79,38	c	A	47,38	b	B	51,61	b	A
Pusa Napier nº 2	3,56	ab	A	3,85	a	A	81,67	a	A	82,7	abc	A	52,58	a	B	55,01	ab	A
Porto Rico 534-B	3,26	B	A	3,75	a	A	78,17	abc	B	80,98	abc	A	50,47	ab	B	54,11	ab	A
Mercker Santa Rita	4,99	ab	A	4,39	a	A	78,73	abc	B	81,35	abc	A	49,80	ab	B	53,89	ab	A
Taiwan A-146	4,19	ab	A	5,12	a	A	78,80	abc	A	80,35	bc	A	51,09	ab	A	53,34	ab	A
Mercker S.E.A.	4,57	ab	A	5,52	a	A	79,88	ab	A	81,73	abc	A	51,1	ab	B	53,76	ab	A
Napier nº 2	4,2	ab	A	4,02	a	A	79,82	abc	B	82,53	abc	A	51,66	ab	B	55,19	ab	A
BAG-86	4,07	ab	A	4,34	a	A	77,29	abc	B	80,23	bc	A	48,32	ab	B	53,22	ab	A

%CIN: porcentagem de cinza; %FDN: porcentagem de fibra em detergente neutro; %FDA: porcentagem de fibra em detergente ácido. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Cont. Tabela 14

Genótipos / Cortes	Características																	
	%CEL						%HEM						%LIG					
	1º		2º				1º		2º				1º		2º			
H1	39,94	Ab	B	45,47	ab	A	28,29	ab	A	26,87	a	B	8,75	a	A	8,50	ab	A
H2	39,81	Ab	B	44,10	b	A	28,74	ab	A	27,2	a	B	9,35	a	A	7,87	ab	B
H3	41,27	Ab	B	44,58	ab	A	27,85	ab	A	27,65	a	A	9,27	a	A	8,00	ab	B
H4	41,14	Ab	B	45,51	ab	A	28,59	ab	A	26,43	a	B	8,96	a	A	7,86	ab	A
H5	39,70	B	B	44,73	ab	A	29,06	ab	A	27,03	a	B	8,63	a	A	7,72	ab	A
H6	40,20	Ab	B	46,4	ab	A	28,83	ab	A	26,90	a	B	7,97	a	A	9,07	a	A
H7	39,11	B	B	43,75	b	A	27,88	ab	A	27,19	a	A	8,40	a	A	7,92	ab	A
H8	40,54	Ab	B	46,92	ab	A	28,59	ab	A	26,56	a	B	9,11	a	A	8,96	a	A
H9	39,34	B	B	43,66	b	A	28,39	ab	A	28,21	a	A	8,60	a	A	7,12	ab	B
H10	40,67	Ab	B	43,53	b	A	28,26	ab	A	27,43	a	A	9,10	a	A	6,24	b	B
H11	40,19	Ab	B	44,98	ab	A	29,73	a	A	27,77	a	B	8,58	a	A	7,41	ab	B
H12	39,79	Ab	B	44,24	ab	A	28,88	ab	A	27,13	a	B	8,44	a	A	7,37	ab	A
H13	40,35	Ab	B	45,60	ab	A	28,28	ab	A	26,56	a	B	8,32	a	A	8,35	ab	A
H14	39,28	B	B	44,03	b	A	29,60	a	A	27,66	a	B	8,16	a	A	6,95	ab	B
H15	40,1	Ab	B	44,82	ab	A	28,64	ab	A	27,1	a	B	8,69	a	A	7,81	ab	A
H16	39,42	B	B	47,06	ab	A	27,20	b	B	28,45	a	A	8,82	a	A	8,2	ab	A
Taiwan A-144	41,11	Ab	B	47,74	a	A	28,09	ab	A	26,22	a	B	8,94	a	A	8,94	a	A
Vruckwona	38,53	B	B	43,72	b	A	28,46	ab	A	27,77	a	A	7,97	a	A	6,69	ab	B
Pusa Napier nº 2	43,19	A	B	46,63	ab	A	29,08	ab	A	27,68	a	B	9,06	a	A	7,34	ab	B
Porto Rico 534-B	40,42	Ab	B	45,21	ab	A	27,7	ab	A	26,86	a	A	9,27	a	A	8,51	ab	A
Mercker Santa Rita	40,66	Ab	B	45,61	ab	A	28,93	ab	A	27,45	a	B	8,56	a	A	7,68	ab	A
Taiwan A-146	40,59	Ab	B	44,60	ab	A	27,71	ab	A	27,01	a	A	9,01	a	A	7,75	ab	B
Mercker S.E.A.	40,80	Ab	B	45,54	ab	A	28,78	ab	A	27,97	a	A	9,13	a	A	7,46	ab	B
Napier nº 2	40,88	Ab	B	46,18	ab	A	28,16	ab	A	27,33	a	A	9,54	a	A	8,37	ab	B
BAG-86	39,32	B	B	44,13	b	A	28,96	ab	A	27,00	a	B	8,32	a	A	8,02	ab	A

%CEL: porcentagem de celulose; %HEM: porcentagem de hemicelulose; %LIG: porcentagem de lignina. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.1.5 CONCLUSÕES

Com base nas características morfoagronômicas PMS, os genótipos H11, H13, H14, Vruckwona, Porto Rico 534-B e o BAG-86 se destacaram por apresentar desempenho favorável nos três cortes; na característica ALT, os híbridos H11, H14, Taiwan A-144, Vruckwona, Porto Rico 534-B, Mercker Santa Rita e BAG-86 apresentaram os maiores valores médios entre os cortes; na característica DC, os genótipos H3, H7, H12, H16, Taiwan A-144, Vruckwona, Pusa Napier nº 2, Porto Rico 534-B, Taiwan A-146 e o BAG-86 se destacaram com os maiores valores médios entre os cortes; na característica NP, os genótipos que mantiveram um comportamento uniforme, sem influência do corte foram H11, H13, H14, Vruckwona e Porto Rico 534-B.

Os genótipos Porto Rico 534-B e BAG-86 podem ser utilizados em programas de melhoramento para a utilização como insumo energético, sobretudo em função da alta PMS.

Com base nas características da qualidade da biomassa %CIN e %FDN, destacaram-se os genótipos H5, H11, H12 e Mercker S. E. A. Nas características %FDA e %HEM, os genótipos H3, H10 e Taiwan A-146 mostraram-se promissores. Para a característica %LIG, destacaram-se os genótipos H1, H4, H5, H6, H7, H8, H12, H13, H15, H16 e Taiwan A-144, Porto Rico 534-B, Mercker Santa Rita e BAG-86.

De modo geral, os melhores genótipos foram aqueles que apresentaram médias mais elevadas para a maioria das características, com desempenho estável para cortes. É interessante, não só para o produtor, mas também para as empresas que querem ter a cultura como matéria prima para geração de energia, que os genótipos tenham desempenho mais estável durante os diferentes cortes.

3.2 CAPACIDADE COMBINATÓRIA EM CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS, EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ.

3.2.1 INTRODUÇÃO

No atual momento, um tema tem chamado bastante atenção para a conservação do meio ambiente em todas as esferas, seja na conservação da água, do solo, do ar, da fauna e da flora. Por esta razão, já se sabe da necessidade e do interesse em desenvolver novos estudos na tentativa de obter novas alternativas de energia, aliadas à conservação do meio ambiente.

No Brasil, algumas fontes de energia já vêm sendo utilizadas, casos do eucalipto e da cana-de-açúcar (Osava, 2007). No entanto, outra fonte tem sido considerada um material bastante promissor, o capim-elefante, que vem sendo estudado há pouco tempo para este fim (Silva, 2010; Osava, 2007; Urquiaga, 2004).

A planta foi trazida da África (Bennet, 1976) para ser utilizada como pastagem, principalmente na criação de gado leiteiro (Osava, 2007). Suas principais vantagens em relação às demais fontes são crescimento rápido e resistência às condições climáticas desfavoráveis, como seca e frio (Freitas et al., 2000; Queiroz Filho, Silva, Nascimento 2000; Santos, Silva, Queiroz Filho, 2001; Silva et al., 2002). Além disso, é capaz de gerar grande quantidade de biomassa (Urquiaga, 2004).

Por este motivo, vários estudos vêm sendo conduzidos em instituições de pesquisas como Embrapa, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (SP), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF (RJ), tendo por base a utilização da biomassa vegetal. Estes estudos visam a identificar os genótipos com perfil para a produção de biomassa. Entre as características desejáveis estão: alto perfilhamento, já que a maior produtividade coincide com os maiores números de perfilhos por área e da altura da planta (Ferraris, 1979), diâmetros de colmo mais grossos, folhas largas, altos teores de fibras (Morais et al., 2009), celulose, lignina e alto poder calorífico.

As pesquisas atuam em diversas vertentes, uma delas é no melhoramento genético, caso da UENF nos trabalhos de Silva (2011), Rossi (2010) e Lima (2010). Para o capim-elefante, o melhoramento é muito recente quando comparado com outras espécies produtoras de grãos, cujos estudos já estão bem avançados (Pereira, 2001). No caso do capim-elefante, o potencial do germoplasma foi pouco explorado. Então existe a possibilidade de serem obtidos ganhos rápidos com o melhoramento.

Diante disso, os objetivos deste trabalho foram estimar a capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores e a capacidade específica de combinação (CEC) dos híbridos com base nas características morfoagronômicas e na qualidade da biomassa.

3.2.2 REVISÃO DE LITERATURA

1. Melhoramento do capim-elefante

O capim-elefante destaca-se, entre as Poáceas tropicais, pelo seu elevado potencial produtivo, resistência às condições climáticas desfavoráveis e por características como qualidade, palatabilidade e vigor. Estas características têm estimulado não só o cultivo da espécie como também o interesse no seu melhoramento genético (Souza Sobrinho et al., 2005). A forrageira está entre as espécies com alta eficiência fotossintética, ou seja, entre aquelas com maior

eficiência no aproveitamento da luz, resultando em uma grande capacidade de produzir matéria seca (Jacques, 1997).

As informações acrescidas a partir dessas avaliações são essenciais no planejamento e na condução dos programas de melhoramento genético do capim-elefante, já que estão relacionadas diretamente com a descrição e discriminação de genótipos importantes, possibilitando a detecção de similaridades e dissimilaridades genéticas dos acessos disponíveis (Techio et al., 2008).

Um exemplo de programa de melhoramento do capim-elefante que pode ser citado é o da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Rossi (2010), ao avaliar as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa de cinquenta e dois acessos de capim-elefante para fins energéticos no norte fluminense, observou que não houve grande variabilidade entre os genótipos estudados em relação à qualidade de biomassa, exceto pelos teores de matéria seca, %FDA e %LIG. No entanto, as diferenças dos caracteres morfoagronômicos revelaram uma condição favorável à realização de programas de melhoramento. Além disso, o estudo observou que os genótipos Napier, Guaçú I/Z.2, P-241- Piracicaba, Pasto Panamá, Cameroon e Mercker 86 México se mostraram mais promissores para serem indicados e utilizados em programas de melhoramento genético para a produção de bioenergia.

Lima (2010), ao estimar a diversidade genética entre 46 acessos de capim-elefante por meio de marcadores de DNA do tipo RAPD e ISSR observou ampla variabilidade entre os genótipos de capim-elefante, em ambos os marcadores, mostrando polimorfismo entre os acessos estudados, não tendo sido detectadas duplicatas na coleção. Além disso, obteve uma frequência de 76% de fragmentos polimórficos.

No ano seguinte, Silva (2011), ao avaliar cruzamentos dialélicos entre genótipos de capim-elefante com potencial para produção de forragem, observou diferença significativa entre os genótipos, para a maioria das características avaliadas, indicando presença de variabilidade genética entre os híbridos e os genitores estudados. Além disso, pôde concluir que na maioria das características morfoagronômicas e bromatológicas houve predominância do efeito gênico de dominância.

Os trabalhos continuaram e no ano de 2011 foi feito o plantio do Banco Ativo de Germoplasma do Capim-Elefante (BAGCE), localizado no Centro

Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos no município de Campos dos Goytacazes – RJ, atualmente composto por 87 acessos de capim-elefante.

O melhoramento desta cultura pode ser conduzido por dois caminhos básicos: um pela obtenção de clones superiores com a escolha dos genitores com base na complementação alélica e na divergência genética e o outro pelo melhoramento populacional, com base no aumento da frequência dos genes favoráveis, resultando em uma população superior à original.

Sendo assim, existem algumas estratégias adotadas pelos programas de melhoramento do capim-elefante. Uma delas seria a introdução de cultivares, considerado o método mais simples e barato de melhoramento genético de uma espécie, pela sua rapidez na obtenção dos resultados. A outra é pela hibridação, que pode ser intraespecífica ou interespecífica, atualmente considerada a principal ferramenta do melhoramento genético do capim-elefante. Para Hanna (1999), o método da hibridação constitui uma boa estratégia para obter cultivares superiores, ampliar a base genética e aproveitar a heterose.

2. Hibridação

A hibridação entre cultivares de capim-elefante constitui a melhor alternativa para a obtenção de genótipos superiores (Hanna 1994). No entanto, existem algumas limitações que devem ser superadas entre elas, a sincronia no florescimento, pois existe a necessidade de considerar o fotoperíodo dos genótipos a serem utilizados como genitores, para que os indivíduos masculinos possam produzir pólen viável no mesmo período em que os indivíduos femininos estejam aptos a receber o pólen. Outra questão seria com relação à escolha dos genitores, que deve ser feita tendo em conta critérios como a complementação alélica e a divergência genética. Inicialmente, deve-se buscar combinar cultivares que apresentam caracteres complementares. Hanna (1994) sugere o intercruzamento entre vários genótipos, com diferentes características genéticas, como método de obter segregantes superiores.

A hibridação pode ser interespecífica ou intraespecífica. Na primeira, o capim-elefante pode ser facilmente cruzado com o milheto, dando origem a um híbrido interespecífico triploide, estéril, com características morfológicas do capim-

elefante, que pode ser mantido por meio da propagação vegetativa. O objetivo de tais cruzamentos é reunir as características desejáveis do milheto, como qualidade da forragem, boa produção de sementes, resistência à deiscência e tolerância às doenças, com a rusticidade, agressividade, perenidade e alta produção de matéria seca do capim-elefante.

Ambos os métodos de hibridação são favorecidos por características peculiares do comportamento reprodutivo do capim-elefante, são elas: alogamia e florescimento protogínico, que permitem a polinização cruzada; elevado número de inflorescências grandes, com elevado número de flores, capazes de produzir muitas sementes; florescimento gradual; e produção abundante de pólen, facilitando o cruzamento dirigido. O capim-elefante apresenta sementes de ampla variação de fertilidade, podendo-se encontrar cultivares de elevados valores de poder de germinação (Xavier et al., 1993).

Pereira et al. (2006), ao analisarem os cruzamentos dialélicos entre capim-elefante e milheto, observaram variabilidade genética nitidamente superior entre os genitores de capim-elefante, de modo que a estratégia de melhoramento intraespecífico, principalmente em capim-elefante, pode proporcionar maiores ganhos para a maioria das características do que a praticada de forma interespecífica.

Assis et al. (2010), ao estudarem a estimativa de parâmetros genéticos sob duas estratégias de avaliação em híbridos intra e interespecíficos de capim-elefante, observaram que os híbridos interespecíficos proporcionaram maior variabilidade genética em relação aos híbridos intraespecíficos, indicando condições favoráveis à realização do melhoramento. Além disso, observaram que o teor de matéria seca apresentou variabilidade similar em relação aos dois tipos de híbridos.

Silva (2011), ao avaliar a capacidade combinatória dos caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos dos Goytacazes – RJ em um dialelo parcial de capim-elefante, observou a presença de variabilidade genética entre os híbridos e os genitores. Além disso, constatou que na maioria das características morfoagronômicas e bromatológicas predominou o efeito gênico de dominância.

3. Análise Dialélica

A escolha dos genitores constitui-se em um dos principais pontos ao iniciar o programa de melhoramento por hibridação específica (Pereira et al., 2006). O sucesso na obtenção dos genótipos com potencial de produção de biomassa pode ser almejado pela obtenção de combinações híbridas que reúnem elevado desempenho e qualidade (Silva, 2011). Tradicionalmente, a escolha dos genitores se baseia na análise do comportamento *per se* e também em cruzamentos dialélicos. Nos cruzamentos dialélicos, podem-se estimar a capacidade geral de combinação e a capacidade específica de combinação (Griffing, 1956) ou os componentes da heterose (Gardner & Eberhart, 1966). Além disso, a heterose está diretamente relacionada à divergência genética entre seus genitores (Falconer, 1981).

O dialelo é um delineamento genético bastante poderoso, por quantificar a variabilidade genética do caráter, avaliar o valor genético dos genitores, a capacidade específica e a heterose das combinações híbridas (Cruz et al., 2004). Existem várias formas de composição dos cruzamentos dialélicos:

- Dialelo balanceado: inclui os híbridos entre todos os pares de combinações, podendo incluir adicionalmente os genitores, recíprocos e até mesmo F2 e retrocruzamentos.
- Dialelo parcial: envolve dois grupos de genitores e seus respectivos cruzamentos. Adaptações dos modelos de Griffing e Gardner e Eberhart maximizam as informações sobre os grupos estudados com menor número de cruzamentos.
- Dialelo circulante: os genitores são representados pelo mesmo número de cruzamentos, mas inferior a $p-1$.
- Dialelo incompleto: os genitores são representados por um número variável de cruzamentos, devido a falhas de certas combinações híbridas; e
- Dialelo desbalanceado: todas as combinações híbridas estão representadas, porém em frequência variável, em virtude do número desigual de repetições.

No procedimento de cruzamentos dialélicos, a capacidade combinatória subdivide-se em capacidade geral e capacidade específica de combinação (Sprague e Tatum, 1942). A capacidade geral de combinação (CGC) corresponde

ao comportamento dos genitores, quando um genitor é cruzado com outro, e está associada à ação aditiva dos genes. A capacidade específica de combinação (CEC) corresponde ao comportamento médio dos híbridos e está associada aos efeitos da dominância (Griffing, 1956).

O estudo da capacidade combinatória de grande número de acessos, por meio de cruzamentos dialélicos, torna-se impraticável em função do número de polinizações necessárias e dificuldades das operações de campo (Russel & Ebehart, 1975). Por outro lado, ao se avaliar pequeno número de acessos e combinações híbridas, além de reduzir a probabilidade de encontrar as melhores combinações, os estimadores da CGC (capacidade geral de combinação) ficam sujeitos a uma grande variação residual, e o reduzido número de graus de liberdade associado aos efeitos da CEC (capacidade específica de combinação) pode dificultar os testes estatísticos.

De acordo com Cruz et al. (2004), a análise dialélica utiliza a estimação de parâmetros genéticos para auxiliar na escolha de um método de seleção mais eficiente e também indica os melhores genitores para hibridação.

O método original proposto por Griffing (1956) estima os efeitos de CGC e CEC. Este procedimento é fundamentado em modelos estatísticos, e apresenta um conjunto máximo de p^2 genótipos. Estes genótipos são obtidos de cruzamentos entre p variedades, linhagens ou cultivares, cujos dados são dispostos em uma tabela dialélica ($p \times p$), sendo que X_{ii} representa o valor médio para a linhagem autofecundada de ordem i ; X_{ij} representa o valor médio para a F_1 resultante do cruzamento entre as linhagens i e j ; e X_{ji} representa a F_1 recíproca (Vencovsky, 1970; Cruz et al., 2004).

O modelo fixo pressupõe que os efeitos genéticos sejam fixos, no qual os genitores possuem propriedades genéticas particulares, e por isso, não correspondem a uma amostra representada da população. No entanto, quando os genitores utilizados representam a população, sendo possível estimar parâmetros populacionais como componentes de variância genética, herdabilidade e grau médio de dominância, denominou-se o modelo de aleatório (Cruz et al., 2004).

Em cruzamentos, a capacidade específica de combinação (CEC) é utilizada como indicador da variabilidade presente entre cruzamentos, desde que esta capacidade de combinação seja resultado da divergência genética entre os genitores e da ocorrência de dominância (Falconer, 1981). A capacidade geral de

combinação (CGC) refere-se ao comportamento médio de um genitor em uma série de cruzamentos.

Além disso, a análise dialélica permite indicar a melhor estratégia de melhoramento com base no efeito gênico predominante nas variáveis estudadas. Silva (2009) avaliou 45 combinações híbridas obtidas pelo cruzamento entre dez linhagens de milho pipoca, utilizando as metodologias de Griffing (1956), Gardner e Ebehart (1966) e Hayman (1954). Como principais resultados, observou que a melhor estratégia de melhoramento para a variável capacidade de expansão é o melhoramento intrapopulacional, visando à obtenção de segregantes. No entanto, para as variáveis quantitativas, relacionadas com o rendimento de grãos, a melhor estratégia é o melhoramento interpopulacional, pela exploração da heterose.

Ledo et al. (2001), avaliaram 15 híbridos obtidos por esquema dialélico de meia tabela utilizando seis cultivares de alface. Estimaram os efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, por meio da metodologia de análise dialélica proposta por Griffing. Houve predominância dos efeitos gênicos aditivos no controle da matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca de folhas (MFF), número de folhas por planta (NUF) e altura do caule (AC); para matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raiz (MSR), os efeitos gênicos não aditivos foram de maior importância.

O método de Griffing (1956), adaptado a dialelos parciais, proposto por Geraldi e Miranda Filho (1988), fornece a decomposição da soma de quadrados dos efeitos de tratamentos de duas maneiras, de forma que são avaliados os efeitos dos grupos de genitores e dos cruzamentos (Cruz e Regazzi, 2004).

O modelo de Gardner e Ebehart (1966), adaptado a dialelos parciais, proposto por Miranda Filho e Geraldi (1984), sugere a decomposição da soma de quadrados dos efeitos de tratamento, fornecendo informações sobre o potencial *per se* dos genitores e da heterose manifestada nas combinações híbridas. A heterose é, então, decomposta em heterose média, heterose do grupo 1 e grupo 2, bem como heterose específica, a partir de uma parametrização crescente (Cruz e Regazzi, 2001).

Com relação à metodologia original de Gardner e Ebehart (1966), Vencovsky (1970) destacou que a heterose média é função linear da dominância e das variâncias das frequências gênicas entre os genitores, podendo ser aumentada se houver aumento da variância das frequências gênicas, no mínimo

em parte dos locos dominantes. Se o genitor revela valores positivos para heterose, indica que há dispersão das frequências gênicas em relação à frequência gênica média. Entretanto, genitores que apresentam valores negativos para heterose indicam que estes valores apresentam menor diversidade em relação aos demais genitores.

4. Dialelo Parcial

A mensuração da capacidade combinatória em um cruzamento dialélico contendo um número muito grande de genitores pode tornar-se inviável devido às várias combinações híbridas que necessitam ser obtidas (Russel e Eberhart, 1973). Com a finalidade de analisar maior número de acessos, com menor número de polinizações e menor dispêndio de recursos, propõe-se a aplicação do dialelo parcial. Também denominado de delineamento II ou delineamento em fatorial, o dialelo parcial foi inicialmente proposto por Comstock e Robinson (1948, 1952), tendo sido posteriormente adaptado por Griffing (1956), Kempthorne e Curnow (1961) e Gardner e Eberhart (1966), consistindo no cruzamento entre dois grupos de genitores distintos.

Portanto, o dialelo parcial permite o estudo da capacidade geral de combinação e capacidade específica de combinação, realizado por meio da análise de uma amostra de todos os possíveis cruzamentos entre os genitores, viabilizando o estudo da capacidade combinatória de um conjunto elevado de genitores, ao contrário dos dialelos completos, em que todas as combinações entre genitores são incluídas, além dos próprios genitores e híbridos recíprocos (Cruz et al., 2004).

Cruz et al. (2004), ressaltam que, ao se avaliar um número reduzido de genitores, representado também por um número pequeno de combinações híbridas, os poucos graus de liberdade associados aos efeitos da CEC poderão proporcionar certa dificuldade para apontar diferenças significativas nos ensaios dialélicos. Esses autores afirmaram ainda que, embora seja útil quando se deseja reduzir o número de cruzamentos, o esquema dialélico parcial não permite identificar as combinações entre os genitores do mesmo grupo.

4.1. Metodologias de Griffing adaptadas aos dialelos parciais

4.1.1. Geraldi e Miranda Filho (1988)

Neste método, são obtidas estimativas dos efeitos e das respectivas variâncias em relação ao modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2} (d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} = a média do cruzamento envolvendo o i -ésimo progenitor do grupo 1 e o j -ésimo progenitor do grupo 2;

Y_{i0} = média do i -ésimo genitor do grupo 1 ($i = 0, 1, \dots, p$);

Y_{0j} = média do j -ésimo genitor do grupo 2 ($j = 0, 1, \dots, p$);

μ = média geral do dialelo;

d_1, d_2 = contrastes envolvendo médias dos grupos 1 e 2 e a média geral;

g_i = efeito da capacidade geral de combinação do genitor 1;

g'_j = efeito da capacidade geral de combinação do genitor 2;

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores i e j ; e

ε_{ij} = erro experimental médio.

4.1.2. Miranda Filho e Geraldi (1984)

As estimativas dos efeitos e das respectivas variâncias são obtidas em relação ao seguinte modelo:

$$Y_{ij} = u + \alpha d + \frac{1}{2} (v_i + v'_j) + \theta(h + h_i + h'_j + s_{ij}) + \varepsilon_{ij}.$$

Se o tratamento se refere à combinação híbrida, têm-se $\alpha = 0$ e $\theta = 1$. Logo, o modelo se reduz a

$$Y_{ij} = u + \frac{1}{2} (v_i + v'_j) + h + h_i + h'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}.$$

Se o tratamento se refere ao genitor do grupo 1, têm-se $\alpha = 1$ e $\theta = 0$. Assim, o modelo se reduz a

$$Y_{i0} = u + d + v_i + \varepsilon_{i0}.$$

Se o tratamento se refere ao genitor do grupo 2 , têm-se $\alpha = -1$ e $\theta = 0$. Logo, o modelo se reduz a

$$Y_{0j} = u - d + v'_j + \varepsilon_{0j}.$$

Em que:

$i = 0, 1, \dots, p$ (p = número de genitores do grupo 1);

$j = 0, 1, \dots, q$ (q = número de genitores do grupo 2);

u = constante associada ao modelo;

d = medida de diferença entre médias dos dois grupos;

v_i = efeito do i -ésimo genitor do grupo 1;

v'_j = efeito do j -ésimo genitor do grupo 2;

h = efeito da heterose média;

h_i = efeito da heterose atribuído ao i -ésimo genitor do grupo 1;

h'_j = efeito da heterose atribuído ao j -ésimo genitor do grupo 2;

s_{ij} = efeito da heterose específica resultante do cruzamento entre genitores de ordem i e j , dos grupos 1 e 2, respectivamente; e

ε_{ij} = erro experimental médio.

4.1.3. Kempthorne (1966)

São obtidas as estimativas dos efeitos e das respectivas variâncias em relação ao modelo

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} = média do cruzamento envolvendo o i -ésimo genitor do grupo 1 e o j -ésimo genitor do grupo 2;

μ = média geral do dialelo;

g_i = efeito da capacidade geral de combinação do i -ésimo genitor do grupo 1;

g'_j = efeito da capacidade geral de combinação do j -ésimo genitor do grupo 2;

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação; e

ε_{ij} = erro experimental médio.

4.1.4. Viana et al. (1999 e 2000)

São fornecidos os resultados cujas expressões para o cálculo são apresentadas por Viana et al. (1999, 2000):

- Médias originais dos híbridos e dos genitores dos grupos I e II.
- Médias e variâncias dos dados da r-ésima linha (V_r) e da s-ésima coluna (V_s).
- Estimativas das covariâncias entre os dados da r-ésima linha (V_r) e dos pais do grupo II (W_r) e entre os dados da s-ésima coluna e os pais do grupo I (W_s).
- Testes de suficiência do modelo aditivo-dominante em relação aos valores de V_r e W_r do grupo I e em relação aos valores de V_s e W_s do grupo II. Também é apresentado o teste de suficiência, considerando os valores conjuntos de V_r e V_s e de W_r e W_s .
- Estimativas de parâmetros genéticos
- Informações genéticas.

4.1.5. Capacidade Combinatória

São obtidas as estimativas dos efeitos e das respectivas variâncias em relação ao modelo

$Y_{ij} = \mu + g_i + g'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que:

Y_{ij} = média do cruzamento envolvendo o i-ésimo genitor do grupo 1 e o j-ésimo genitor do grupo 2;

μ = média geral do dialelo;

g_i = efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo genitor do grupo 1;

g'_j = efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo genitor do grupo 2;

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação; e

ε_{ij} = erro experimental médio.

A capacidade combinatória é definida como a habilidade ou a capacidade de complementação de alelos no genoma de híbridos resultantes do cruzamento

de dois genitores distintos (Allard, 1971). Ela pode ser de dois tipos: Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC).

4.2. Capacidade Geral de Combinação

As estimativas da capacidade geral de combinação (CGC) informam a concentração de genes com capacidade de proporcionar efeitos aditivos sobre a característica de interesse, tendo sido muito utilizado como indicativo em programas de melhoramento intrapopulacional (Cruz et al., 2004).

Este tipo de capacidade de combinação indica os melhores pais em um programa de melhoramento.

Silva (2011), após analisar a capacidade geral de combinação dos genitores em um dialelo parcial entre os genótipos de capim-elefante, observou efeito gênico aditivo no controle das características morfoagronômicas, entre elas, número de perfilhos, largura da lâmina e produção de matéria seca.

Pereira et al. (2006), ao estimar a capacidade geral de combinação de oito características bromatológicas avaliadas em 132 híbridos interespecíficos resultantes do cruzamento entre onze genótipos de capim-elefante e doze genótipos de milheto, observaram predominância do efeito gênico aditivo no controle dessas características.

4.3. Capacidade Específica de Combinação

A capacidade específica de combinação (CEC) é utilizada como indicador da variabilidade presente entre os cruzamentos, desde que esta capacidade de combinação seja resultado da divergência genética entre os genitores e da ocorrência de dominância (ou não aditividade) (Falconer, 1987) ou de epistasia.

Pereira et al. (2006), após realizarem estudo sobre a capacidade específica de combinação (CEC) de dez características morfoagronômicas de 132 híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milheto, observaram efeito gênico não aditivo (ou de dominância) na maioria das características avaliadas.

Silva (2011), ao analisar a capacidade específica de combinação em um dialelo parcial obtido do cruzamento entre genótipos de capim-elefante, observou

efeito gênico de dominância no controle das características bromatológicas porcentagem de cinza, porcentagem de proteína bruta e porcentagem de fibra em detergente neutro.

3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS

1. Localização e características climáticas da região

O experimento foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, localizado no município de Campos dos Goytacazes – RJ (latitude 21°19' 23" S e longitude 41° 19' 40" W e altitude variando de 20 a 30 m).

O clima da região é tipo Aw de Köppen (tropical com estação seca de inverno). A Tabela 1 mostra os dados de precipitação pluviométrica mensal, verificados durante o período experimental, obtidos na Estação Evapotranspirométrica – setor de Irrigação e Agrometeorologia da UENF/PESAGRO (Campos dos Goytacazes – RJ).

Tabela 1 - Dados pluviométricos (mm), organizados em meses coletados nas proximidades da área experimental, durante a execução do trabalho.

2011		2012	
Jan	-----	Jan	216,5
Fev	0,5	Fev	11,7
Mar	211,5	Mar	73,6
Abr	25,4	Abr	14,4
Mai	41,0	Mai	147,2
Jun	12,2	Jun	74,0
Jul	7,2	Jul	5,9
Ago	16,1	Ago	59,8
Set	15,5	Set	21,6
Out	98,0	Out	12,5
Nov	81,3	Nov	134
Dez	114,3	Dez	2,9
Total	623,0	Total	774,1

Fonte: Estação Evapotranspirométrica do Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de resíduos – Pesagro – Rio, Campos dos Goytacazes - RJ.

2. Condições experimentais

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com três repetições. A parcela foi composta por uma linha de 4 m com espaçamento de 1,5 m entre linhas, sendo considerada útil 1 m dentro das linhas. Cada bloco foi composto por 25 tratamentos (16 híbridos, 8 genitores e 1 testemunha).

O plantio foi realizado em maio de 2010 por meio de estacas dispostas pé com ponta, distribuídas em sulcos de 10 cm de profundidade. No plantio, foram incorporados 100 kg/ha de P₂O₅ (superfosfato simples). A irrigação foi oferecida apenas durante a emergência das plantas e, após 50 dias de plantio, complementou-se a adubação com 25 kg/ha de sulfato de amônio e cloreto de potássio.

Após a fase de estabelecimento, todos os genótipos foram cortados rente ao solo (corte de uniformização) no dia 17 de dezembro de 2010, seguindo-se uma adubação em cobertura com 25 kg/ha de sulfato de amônio e cloreto de potássio. Nas parcelas em que houve falhas na emergência de plantas, procedeu-se ao replantio.

O 1º corte foi feito em 25 de agosto de 2011 (36 semanas após o corte de uniformização – período seco); o 2º corte, em 16 de abril de 2012 (36 semanas após o 1º corte – período chuvoso); e o 3º corte, em 25 de setembro de 2012 (23 semanas após 2º corte – período seco).

3. Relação dos genitores e obtenção dos híbridos

Foram utilizados dois grupos de genitores de capim-elefante. O grupo 1 foi constituído de quatro genitores masculinos: Taiwan A-144 (P1), Vruckwona (P2), Pusa Napier nº 2 (P3) e Porto Rico 534-B (P4). E o grupo 2 constituído de quatro genitores femininos: Mercker Santa Rita (P1), Taiwan A-146 (P2), Mercker S. E. A. (P3) e Napier nº 2 (P4). Como testemunha, utilizou-se o acesso BAG-86.

As 16 combinações híbridas obtidas dos cruzamentos dialélicos apresentados na Tabela 2 foram identificadas como H1 (1x1), H2 (1x2), H3 (1x3), H4 (1x4), H5 (2x1), H6 (2x2), H7 (2x3), H8 (2x4), H9 (3x1), H10 (3x2), H11 (3x3), H12 (3x4), H13 (4x1), H14 (4x2), H15 (4x3) e H16 (4x4).

Tabela 2 – Esquema de cruzamentos do dialelo parcial com oito genitores.

Grupo 2 (genitores femininos)	Grupo 1 (genitores masculinos)			
	Taiwan A-144 (P1)	Vruckwona (P2)	Pusa Napier nº 2 (P3)	Porto Rico 534-B (P4)
Mercker Santa Rita (P1)	H1	H5	H9	H13
Taiwan A-146 (P2)	H2	H6	H10	H14
Mercker S.E.A. (P3)	H3	H7	H11	H15
Napier nº 2 (P4)	H4	H8	H12	H16

4. Características avaliadas

As características foram avaliadas em amostras da parte aérea das plantas, divididas em morfoagronômicas e da qualidade da biomassa. Em cada corte foram avaliadas as características descritas a seguir:

4.1. Características morfoagronômicas

- Altura das plantas (ALT) em metros: medida do solo até a curvatura da última folha completamente expandida.
- Diâmetro do colmo (DC) em mm: medido a 10 cm do nível do solo.
- Largura da lâmina (LL) em cm: medida com régua graduada e obtida por três medidas em cada repetição.
- Número de perfilhos (NP) por metro linear: a contagem foi feita em 1,0 m dentro das linhas, desprezando as extremidades devido às falhas de brotação.

- Produção de matéria verde total (PMV) em $t\ ha^{-1}$, para a qual a biomassa das parcelas foi pesada ainda fresca. Logo após foi retirado um perfilho (uma subamostra) para secagem em estufa a $65\ ^\circ C$, por 72 horas, até peso constante (ASA – amostra seca ao ar). O material seco (folha e colmo) foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em frasco de plástico. Em seguida, as amostras foram colocadas novamente para secar em estufa a $105\ ^\circ C$, por 12 horas (ASE - amostra seca em estufa).
- Porcentagem de matéria seca (%MS): foi estimada pelo produto entre a ASA e a ASE; e
- Produção de matéria seca total (PMS) em $t\ ha^{-1}$.

Com as amostras coletadas no primeiro e no segundo corte, foram feitas as análises das características da qualidade da biomassa.

4.2. Características da qualidade da biomassa

- Porcentagem de cinza (%CIN): estimada pela razão entre o peso da amostra seca na mufla $600\ ^\circ C$ por 15 horas e o peso da matéria seca definitiva (Silva e Queiroz, 2002).
- Porcentagem de fibra em detergente neutro (%FDN).
- Porcentagem de fibra em detergente ácido (%FDA).
- Porcentagem de celulose (%CEL).
- Porcentagem de hemicelulose (%HEM): estimada pela diferença entre as porcentagens obtidas de FDN e FDA; e
- Porcentagem de lignina (%LIG).

As análises das %FDN, %FDA, %CEL e %LIG foram feitas pelo Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Gado de Leite e efetuadas por espectrofotometria próxima do infravermelho (NIRS). Todas as análises foram feitas com base na planta inteira.

5. Análise Estatística

5.1.1. Análise dialélica da variância

5.1.2. Metodologia de Griffing adaptada a dialelos parciais

Geraldi e Miranda Filho (1988) apresentaram uma adaptação do modelo proposto por Griffing (1956). O modelo estatístico considerado para a análise tem por base a média das repetições (Cruz et al., 2004):

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2} (d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} = a média do cruzamento envolvendo o i -ésimo genitor do grupo 1 e o j -ésimo genitor do grupo 2;

Y_{i0} = média do i -ésimo genitor do grupo 1 ($i = 0, 1, \dots, p$);

Y_{0j} = média do j -ésimo genitor do grupo 2 ($j = 0, 1, \dots, p$);

μ = média geral do dialelo;

d_1, d_2 = contrastes envolvendo médias dos grupos 1 e 2 e a média geral;

g_i = efeito da capacidade geral de combinação do genitor do grupo 1;

g'_j = efeito da capacidade geral de combinação do genitor do grupo 2;

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores i e j ; e

ε_{ij} = erro experimental médio.

Tabela 3 - Esquema do resultado da análise dialélica de variância com os respectivos quadrados médios.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	$pq+p+q-1$	SQTr	QMTr	
Grupos (G1 vs G2)	1	SQG	QMG	QMG/QMR
CGC – Grupo 1	$p-1$	SQCGC1	QMCGC1	QMCGC1/QMR
CGC - Grupo 2	$q-1$	SQCGC2	QMCGC2	QMCGC2/QMR
CEC	Pq	SQCEC	QMCEC	QMCEC/QMR
Resíduo	F		QMR	

f: graus de liberdade do resíduo fornecido pelo usuário

3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Análise de Griffing adaptada a dialelos parciais

1.1. Análise de Variância para capacidade de combinação

A Tabela 4 mostra o resultado da análise dialélica de variância, com as estimativas dos quadrados médios dos tratamentos, dos Grupos (Grupo 1: genitores masculinos x Grupo 2: genitores femininos), das capacidades gerais de combinação (CGC) de cada grupo e da capacidade específica de combinação (CEC), das características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa, encontra-se.

De acordo com os resultados, para a fonte de variação tratamentos, houve diferença significativa pelo teste F a 1% e a 5% de probabilidade em quase todas as características, com exceção para NP e %HEM, que tiveram ausência de significância, indicando não haver variabilidade entre os genótipos estudados.

Na fonte de variação grupos, entre as características morfoagronômicas, houve significância a 1% de probabilidade apenas para ALT e DC e a 5% para PMS. Em relação às características da qualidade da biomassa em nenhuma delas foram detectadas diferenças significativas.

Entre as características morfoagronômicas, os quadrados médios da CGC do grupo 1 foram significativos a 1% de probabilidade apenas nas características LL e PMS, a característica ALT foi significativa a nível de 5% de probabilidade e as demais características como DC, NP e %MS não tiveram efeito significativo. Entre as características da qualidade da biomassa, %FDN, %HEM, %LIG foram significativas a 1%, e %FDA e %CEL foram significativas a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Resumo da análise dialélica de variância para capacidade de combinação, com a decomposição da soma de quadrados dos genótipos (tratamentos) envolvendo os 16 híbridos resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais e os oito genitores de capim-elefante para as características morfoagronômicas, com base em três cortes e para as características da qualidade da biomassa com base em dois cortes. Campos dos Goytacazes - RJ. 2011/2012.

FV	GL	Quadrados Médios											
		ALT	DC	LL	NP	PMS	%MS	%CIN	%FDN	%FDA	%CEL	%HEM	%LIG
Tratamentos	23	0,262**	8,607**	0,718**	423,308 ^{ns}	213,579*	30,884**	1,158*	6,8458**	8,5175**	5,0816**	1,0552 ^{ns}	1,1928*
Grupos	1	1402**	33,577**	0,161 ^{ns}	98,75 ^{ns}	524,739*	4,025 ^{ns}	2,405 ^{ns}	0,5651 ^{ns}	0,121 ^{ns}	0,5381 ^{ns}	0,414 ^{ns}	0,1164 ^{ns}
CGC (Grupo I)	3	0,323*	3,472 ^{ns}	0,83**	485,262 ^{ns}	524233**	17,243 ^{ns}	0,7525 ^{ns}	13,8341**	15,0409*	6,4646*	2,7845**	2,8532**
CGC (Grupo II)	3	0,0341 ^{ns}	0,594 ^{ns}	0,254 ^{ns}	92,846 ^{ns}	68,742 ^{ns}	38,604*	0,471 ^{ns}	5,9687 ^{ns}	8,16 ^{ns}	3,6323 ^{ns}	0,6962 ^{ns}	1,1511 ^{ns}
CEC	16	0,222*	9,512**	0,819**	493,939*	163,041 ^{ns}	33,673**	1,284*	6,0925*	7,893*	5,3779**	0,8384 ^{ns}	0,9566 ^{ns}
Resíduo	46	0,113	3,344	0,193	261,771	112,177	11,146	0,6624	2,761	3,5618	1,5731	0,649	0,6029

ALT = altura da planta (m); DC = diâmetro médio do colmo (mm); LLA = largura da lâmina foliar (cm); NP = número de perfilhos por metro linear; PMS = produção de matéria seca (t/ha); %MS = percentagem de matéria seca; %CIN = percentagem de cinzas; %FDN = percentagem de Fibra em Detergente Neutro; %FDA = percentagem de fibra em ácido; %CEL = percentagem de celulose; %Lig = percentagem de lignina; %HEM = percentagem de hemicelulose. * = Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ** = Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} = não significativo.

Com relação aos quadrados médios da CGC do grupo 2, houve ausência de significância em quase todas as características avaliadas, com exceção da %MS, que foi significativa a 5% de probabilidade. Isso indica a existência de diferenças entre os efeitos da CGC para os genitores de ambos os grupos, caracterizando o envolvimento de efeitos gênicos aditivos no controle das características que revelaram significância, a saber: LL, PMS, ALT, %FDN, %HEM, %Lig, %FDA e %CEL para o grupo 1; e %MS para o grupo 2. As características DC, NP, %MS e %CIN do grupo 1 (genitores masculinos) apresentaram efeitos gênicos não aditivos. No grupo 2 (genitores femininos), o número de características que apresentou efeito gênico não aditivo foi maior, entre elas estão as características ALT, DC, LL, NP, PMS, %CIN, %FDN, %FDA, %CEL, %HEM e %LIG.

A avaliação da natureza e da magnitude dos efeitos gênicos que controlam os vários caracteres quantitativos é um dos principais objetivos em programas de melhoramento de planta. Portanto, é fundamental investigar, na fração genética, as proporções que podem ser atribuídas a fatores gênicos aditivos, dominantes e epistáticos. Essa avaliação está intimamente relacionada com os objetivos dos programas de melhoramento, e esses tipos de ações gênicas podem ser usados para explicar a expressão heterótica, assim como a depressão endogâmica (Wilson et al., 1978; Finkner et al., 1981).

Com relação ao efeito da capacidade específica de combinação, verificou-se que os quadrados médios foram significativos, ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F, para as características DC, LL, %MS, %CEL, e ao nível de 5% de probabilidade para as características ALT, NP, %CIN, %FDN e %FDA. Já as características PMS, %HEM e %LIG foram não significativas. Dessa forma, constatou-se que na maioria das características analisadas ocorreu predominância do efeito gênico dominância.

1. Efeitos da capacidade geral de combinação

A Tabela 5 mostra as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos oito genitores de capim-elefante para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa avaliadas em dezesseis combinações híbridas resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais. Estas

estimativas têm grande utilidade na indicação dos genitores que deverão ser incluídos em programas de melhoramento devido à ação de genes predominantemente aditivos em seus efeitos, possibilitando a comparação da importância relativa dos efeitos da CGC dos vários genitores utilizados (Falconer, 1987).

Valores altos positivos das estimativas de CGC indicam que a média dos cruzamentos que envolvem um determinado genitor é superior à média geral do F_1 's, que entra no sistema de cruzamentos. Valores baixos positivos são indicativos de que o valor da capacidade geral de combinação dos genitores não difere da média geral dos cruzamentos dialélicos. Por outro lado, valores negativos, altos ou baixos, indicam que o genitor contribui desfavoravelmente para ganhos relativos às características em questão (Cruz e Regazzi, 1997).

Em programas de melhoramento de capim-elefante, destinados à geração de energia, o objetivo final é a obtenção de materiais com maiores valores para as características produção de matéria seca da planta (PMS), diâmetro do colmo (DC), largura da lâmina (LL), número de perfilhos por metro linear (NP), porcentagem de fibra em detergente neutro (%FDN), porcentagem de fibra em detergente ácido (%FDA) e porcentagem de lignina (%LIG).

Nas estimativas obtidas da CGC para a característica ALT, o genitor Porto Rico 534-B foi o que apresentou a maior estimativa positiva, 0,901. Alguns genitores como Taiwan A-144, Taiwan A-146 e Mercker S. E. A. apresentaram valores positivos, porém muito baixos, 0,0089, 0,0279 e 0,006, respectivamente. Por outro lado, genitores como Vruckwona e Pusa Napier nº 2 apresentaram valores negativos, -0,0356 e -0,0634, respectivamente. Silva (2011), ao avaliar os mesmos grupos de genitores, observou os melhores resultados nos genitores Taiwan A-144, Pusa Napier nº 2, Taiwan A-146 3,7636; 1,6621 e 13,1250, respectivamente.

Com relação à característica DC, os genitores que apresentaram valores positivos foram: Porto Rico 534-B, com o valor de 0,1925, e Napier nº 2, com valor de 0,121. Assim como foi observado na característica ALT, o genitor Porto Rico 534-B apresentou a maior estimativa para o DC. Silva (2011) também observou valores muito baixos, não ultrapassando 0,0390.

Tabela 5 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (g_i e g'_j) de oito genótipos de capim-elefante para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa, avaliadas em 16 combinações híbridas resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais. Campos dos Goytacazes - RJ. 2011/2012.

Genitores	Características											
	ALT	DC	LL	NP	PMS	%MS	%CIN	%FDN	%FDA	%CEL	%HEM	%LIG
Taiwan A-144 (P1)	0,0089	-0,3162	-0,0601	-0,5305	-0,5017	0,3474	0,1186	0,5449	0,7455	0,3864	-0,2458	0,3026
Vruckwona (P2)	-0,0356	0,0577	0,1535	0,7396	0,4748	-1,202	0,0554	-0,6199	-0,61	-0,4674	0,0209	-0,1486
Pusa Napier nº 2 (P3)	-0,0634	0,0659	-0,0857	-3,2166	-3,255	-0,6416	-0,0011	0,3381	-0,029	0,1688	0,3221	-0,2396
Porto Rico 534-B (P4)	0,901	0,1925	-0,0077	3,0075	3,2819	0,4144	-0,1729	-0,263	-0,1065	-0,0878	-0,0972	0,0856
Mercker Santa Rita (P1)	-0,0137	-0,0993	0,0426	0,1248	-0,6532	-0,9362	-0,0223	-0,1445	-0,2233	-0,719	0,034	-0,0886
Taiwan A-146 (P2)	0,0279	-0,0148	0,0118	-1,6102	1,1659	-0,0868	-0,0386	-0,4082	-0,3238	-0,2558	-0,0535	-0,1016
Mercker S.E.A. (P3)	0,006	-0,0069	0,0326	1,023	0,4317	0,1941	0,1436	0,1482	-0,0471	-0,0629	0,1499	-0,0386
Napier nº 2 (P4)	-0,0203	0,121	-0,087	0,4623	-0,9444	0,8288	-0,0827	0,4045	0,5942	0,3905	-0,1305	0,2287

Genitores masculinos: Taiwan A-144 (P1), Vruckwona (P2), Pusa Napier nº 2 (P3) e Porto Rico 534-B (P4); genitores femininos: Mercker Santa Rita (P1), Taiwan A-146 (P2), Mercker S.E.A. (P3) e Napier nº 2 (P4). ALT = altura da planta (m); DC = diâmetro médio do colmo (mm); LL = largura da lâmina foliar (cm); NP = número de perfilhos (perfilhos/m); PMS = produção de matéria seca ($t \cdot ha^{-1}$); %MS = porcentagem de matéria seca; %CIN = porcentagem de cinzas; %FDN = porcentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = porcentagem de fibra em detergente ácido; %CEL = porcentagem de celulose; %HEM = porcentagem de hemicelulose e %LIG = porcentagem de lignina.

Para a característica LL, o genitor que apresentou estimativa positiva foi o Vruckwona, 0,1535. Na característica NP, os genitores que se destacaram com valores positivos foram: Vruckwona, com 0,7396; Porto Rico 534-B, com 3,0075; Mercker S. E. A., com 1,023; e Napier nº 2, com 0,4623. Silva (2011) observou que apenas os genitores Vruckwona e Napier nº 2 apresentaram valores positivos 4,0945 e 2,1242, respectivamente.

Em relação à principal característica do capim-elefante, que é a produção de matéria seca (PMS), alguns genitores apresentaram valores positivos. Entre os masculinos, destaca-se o genitor Porto Rico 534-B, com 3,2819, e o Vruckwona, com 0,4748. Entre os femininos, o Taiwan A-146 se destacou, com 1,1659, e o Mercker S. E. A., com 0,4317. Mais uma vez, o genitor Porto Rico 534-B se destacou com a maior estimativa positiva entre todos os genitores. Silva (2011) observou valores positivos nos genitores Vruckwona e Napier nº 2, 0,6969 e 0,4144, respectivamente.

No caso da característica %MS, interessam os maiores valores negativos das estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação, uma vez que indicam que eles podem proporcionar ganhos de produção de matéria seca em programas de melhoramento. Neste caso, o genitor Vruckwona sobressaiu-se em relação aos demais, com a maior estimativa negativa, -1,202, seguido por Mercker Santa Rita, com -0,9362, e Pusa Napier nº 2, com -0,6416. Como relatado anteriormente, os genitores Vruckwona e Taiwan A-146 obtiveram valores positivos para a CGC para a característica PMS. Neste contexto, observou-se que, entre os genitores citados anteriormente (Vruckwona, Porto Rico 534-B, Taiwan A-146 e Mercker S. E. A.), eles são promissores por contribuir para o aumento da frequência de genes favoráveis para a produção de matéria seca.

Para as características %FDN, %FDA, %CEL, %HEM e %LIG, interessam os maiores valores positivos estimados para os efeitos da capacidade geral de combinação, haja vista que o foco principal é a geração de energia. Sendo assim, considerando o ganho genético para a produção de matéria seca associada às características da qualidade da biomassa, para a característica %FDN, o genitor Mercker S. E. A. foi o único a apresentar valor positivo, 0,1482. Para as características %FDA e %CEL, nenhum deles obteve valores positivos. Para a %HEM, os genitores Vruckwona e Mercker S. E. A., com 0,1499 e 0,0209,

respectivamente, fora os únicos com estimativas positivas, por fim, para a %LIG, o genitor Porto Rico 534-B obteve valor de 0,0856. Silva (2011), ao analisar as características bromatológicas (%MS, %CIN, %PB e %FDN), observou que os genitores Vruckwona e Napier nº 2 apresentaram valores positivos em todas as características.

As estimativas dos efeitos da CGC permitem identificar os genitores que se revelaram promissores. E por esta razão, pôde-se observar que os dois grupos de genitores, aqui representados por genitores masculinos e femininos, apresentaram comportamentos diferentes em relação às características morfoagronômicas e à qualidade da biomassa. Entre aqueles que apresentaram os melhores valores da CGC para as características morfoagronômicas ALT, DC, NP, PMS, está o genitor Porto Rico 534-B, e para as características morfoagronômicas LL, DC, NP e PMS, está o genitor Vruckwona. Entre os que apresentaram estimativas positivas para as características da qualidade da biomassa, destacaram-se o Taiwan A-144 e o Napier nº 2, denotando que eles poderão contribuir para elevar a qualidade da biomassa em programas de melhoramento.

2. Efeitos da capacidade específica de combinação

A Tabela 6 mostra as estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}), para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa avaliadas em dezesseis combinações híbridas, resultantes dos cruzamentos dialélicos entre oito genitores de capim-elefante.

De acordo com Falconer (1981), a capacidade específica de combinação é definida como o desvio do desempenho médio de uma combinação particular em relação à média dos parentais envolvidos no cruzamento. Deste modo, baixas estimativas positivas ou negativas de (\hat{s}_{ij}) indicam que os híbridos se comportam como o esperado com base na capacidade geral de combinação (CGC) de seus parentais; enquanto valores absolutos altos de (\hat{s}_{ij}) indicam que algumas combinações são relativamente melhores e outras piores, com base na CGC dos parentais (Sprague e Tatum, 1942; Cruz et al., 2004).

Sendo assim, as estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação são medidas dos efeitos gênicos não aditivos, interessando ao melhorista as combinações híbridas com as melhores estimativas de capacidade específica de combinação envolvendo pelo menos um dos genitores que tenha apresentado estimativas favoráveis para o efeito da capacidade geral de combinação (Cruz e Regazzi, 2004).

É importante ressaltar que dois parentais com elevada CGC nem sempre proporcionam a formação da melhor combinação do dialelo (Cruz e Vencovsky, 1989).

No caso da característica ALT, as combinações híbridas que apresentaram as maiores estimativas positivas, com seus respectivos valores, foram: 1x5 (0,103); 2x6 (0,078); 3x7 (0,1111); 4x5 (0,0606) (Tabela 6). Estas combinações se destacaram por conterem pelo menos um dos genitores com valor positivo de g_i ou g'_j .

Ao analisar a característica DC, Tabela 6, verificou-se que as melhores combinações híbridas e as respectivas estimativas foram: 1x5 (0,6121), 1x6 (0,1099), 1x7 (0,2511), 2x7 (1,2783), 3x6 (1,0431), 3x7 (1,1021), 3x8 (0,2433). Não houve significância nas estimativas de capacidade geral de combinação CGC em ambos os grupos (Tabela 4).

Estimativas positivas da CGG para DC no grupo 1 (genitores masculinos) ocorreram entre os genitores Porto Rico 534-B, Pusa Napier nº 2 e Vruckwona, com os valores 0,1925; 0,0659 e 0,0577, respectivamente, Tabela 5; no grupo 2 (genitores femininos), a maior estimativa ocorreu para o genitor Napier nº 2, com o valor de 0,121 (Tabela 5). Dado que as melhores combinações híbridas devem ser aquelas com as maiores \hat{s}_{ij} , cujos genitores apresentem alta CGC (Cruz e Regazzi, 1997), denota-se que a melhor combinação híbrida e a respectiva estimativa de \hat{s}_{ij} foram de 3x8 (0,2433), em que os dois genitores apresentaram efeitos favoráveis da capacidade geral de combinação, acompanhados do híbrido de maior \hat{s}_{ij} , 2x7 (1,2783), e dos híbridos 3x6 (1,0431), 3x7 (1,1021), em que pelo menos um dos genitores apresentou estimativa positiva para CGC.

Quanto à característica LL, foram obtidas estimativas reduzidas de \hat{s}_{ij} , ainda que positivas. Das dez estimativas positivas de \hat{s}_{ij} , Tabela 6, três se sobressaíram por conter pelo menos um dos genitores com elevado valor para a

CGC, sendo as seguintes combinações 3x6 (0,4093), 3x7 (0,2362) e 4x6 (0,4414).

Tabela 6 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}), para características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa avaliadas em 16 combinações híbridas resultantes dos cruzamentos dialélicos parciais entre oito genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes - RJ. 2011/2012.

Efeitos (\hat{s}_{ij})	Características Avaliadas											
	ALT	DC	LL	NP	PMS	%MS	%CIN	%FDN	%FDA	%CEL	%HEM	%LIG
H1 (1x1)	0,103	0,6121	-0,1161	8,2591	5,024	2,3231	-0,325	-0,3564	-0,2387	-0,3534	-0,0881	0,1042
H2 (1x2)	-0,1719	0,1099	0,0193	-4,0059	-5,6341	-0,6164	0,1453	-0,3397	-0,7761	-0,9185	0,3904	0,1022
H3 (1x3)	-0,0778	0,2511	0,0439	6,9154	-3,7568	0,9464	-0,1438	0,1159	0,1771	-0,1414	-0,031	0,0642
H4 (1x4)	-0,0793	-0,0079	-0,1354	4,365	3,0642	-0,5842	0,2074	-0,5054	-0,6791	-0,1978	0,0094	-0,4291
H5 (2x1)	-0,2415	-0,256	-0,0252	-2,9742	-2,9154	-0,0338	0,2283	0,4844	0,3248	0,0135	0,1133	0,1053
H6 (2x2)	0,078	-2,0016	-0,3965	12,0297	5,3172	2,2315	-0,5704	0,9001	1,3644	1,2804	0,0228	0,4653
H7 (2x3)	0,0499	1,2783	-0,393	-2,3168	0,9919	-3,6132	0,435	-1,2243	-0,7564	-0,7805	-0,5146	0,0423
H8 (2x4)	-0,0016	-0,2596	-0,1278	-4,7184	-3,5295	0,5861	-0,3483	1,4994	1,5424	1,0641	-0,1942	0,648
H9 (3x1)	-0,0859	-0,7887	-0,176	0,6486	-0,495	2,3973	-0,0552	-1,2616	-1,2962	-1,3397	0,0641	-0,1197
H10 (3x2)	-0,322	1,0431	0,4093	-3,5798	-6,4905	-1,2938	0,2111	-0,9179	-0,6586	-0,5588	-0,3054	-0,2957
H11 (3x3)	0,1111	1,1021	0,2362	9,1493	8,0573	2,5937	0,137	0,0287	-0,3434	-0,2637	0,4032	-0,0337
H12 (3x4)	-0,0738	0,2433	-0,242	13,0889	1,976	-0,3041	1,0662	-1,4976	-1,5066	-1,2851	-0,0654	-0,394
H13 (4x1)	0,0606	-0,1308	-0,3217	2,0168	0,3286	-3,3209	0,3475	0,2725	0,5913	0,3919	-0,3937	0,0302
H14 (4x2)	-0,0366	-0,5575	0,4414	-4,1738	-0,5738	1,6612	0,4148	-0,6318	-1,6841	-0,7422	0,9018	-0,7338
H15 (4x3)	-0,1569	-0,5831	-0,0728	-2,427	-4,084	-0,2865	0,1087	-0,1382	-0,1509	-0,1321	-0,0626	-0,1048
H16 (4x4)	0,0316	-0,1488	0,1612	0,416	-1,873	0,3776	0,1929	-0,3415	0,1389	0,1945	0,1778	-0,1121

ALT = altura da planta (m); DC = diâmetro médio do colmo (mm); LL = largura da lâmina foliar (cm); NP = número médio de perfilhos; PMS = produção de matéria seca (t/ha); %MS = porcentagem de matéria seca; %CIN = porcentagem de cinzas; %FDN = porcentagem de fibra em detergente neutro; %FDA = porcentagem de fibra em detergente ácido; %CEL = porcentagem de celulose; %HEM = porcentagem de hemicelulose e %Lig = porcentagem de lignina.

Para a característica NP, sete combinações híbridas apresentaram valores positivos de \hat{s}_{ij} , Tabela 6, e se destacaram pelo fato de conterem pelo menos um dos seus genitores com elevado valor para CGC. Tais combinações e seus respectivos valores de \hat{s}_{ij} foram: 1x5 (8,2591), 1x7 (6,9154), 1x8 (4,365), 2x6 (12,0297), 3x7 (8,7203), 3x8 (13,0889), 4x5 (2,0168).

Em relação à característica PMS, reconhecidamente a mais importante da cultura, os híbridos que apresentaram as maiores estimativas positivas de \hat{s}_{ij} foram 1x5 (5,024), 1x8 (3,0642), 2x6 (5,3172), 3x7 (8,0573), 4x5 (0,3286), confirmando a potencialidade das combinações 1x5, 2x6, 3x7 e 4x5 que alcançaram os melhores resultados para outras características morfoagronômicas. Entre estas combinações, destacou-se o híbrido 2x6, com uma das maiores estimativas correspondentes à CEC (5,3172), além das estimativas de CGC positivas dos parentais (Tabela 5). Entretanto, alguns dos híbridos que detiveram as maiores médias para produção de matéria seca não obtiveram, necessariamente, valores positivos para CEC, tais como as combinações 4x6, com média de 24,91 t.ha⁻¹ e \hat{s}_{ij} de -0,5738; e de 4x8, com média de 21,50 t.ha⁻¹ e \hat{s}_{ij} de -1,873. Sendo assim, as melhores combinações híbridas foram 2x6 (5,3172), 2x7 (0,9919) acompanhados do híbrido de maior, \hat{s}_{ij} 3x7 (8,0573).

No que se refere às características da qualidade da biomassa, destacaram-se os híbridos 1x5, 1x7, 2x6, 2x8, 3x5, 3x7, 4x6 e 4x8, com as melhores estimativas de \hat{s}_{ij} para a variável %MS. Deve-se ressaltar que o teor de matéria seca no capim-elefante é afetado não somente pela idade da planta, mas também pela taxa de emissão de folhas. Assim, os programas de melhoramento devem considerar não somente as diferenças genéticas para conteúdo de matéria seca, mas, também, a composição dessa matéria seca (Pereira et al., 2000).

A percentagem média de cinza (%CIN) deve ser considerada na escolha do material a ser utilizado na produção de energia por combustão direta pelo fato de influenciar nas características operacionais da conversão da biomassa em energia (McKendry, 2002). Neste caso, para a característica %CIN, que é linearmente inversa à percentagem de matéria orgânica, há o interesse nas combinações híbridas com os valores negativos, visto que denotam a capacidade do híbrido em expressar a fração da matéria seca que não se reflete em

capacidade calorífica maior. Por esta razão, destacaram-se os cruzamentos 1x5, 2x6 e 2x8, com os maiores efeitos negativos de \hat{s}_{ij} -0,325, -0,5704 e -0,8483, respectivamente.

As combinações híbridas que apresentaram as maiores estimativas positivas de \hat{s}_{ij} para a característica %FDN foram 2x5 (0,4844), 2x6 (0,9001), 2x8 (1,4994) e 4x5 (0,2725) (Tabela 6). No entanto, considerando que não houve significância ($P > 0,05$) da CGC para os genitores do grupo 2 (genitores femininos), Tabela 4, e que as maiores estimativas positivas da CGC no grupo 1 (genitores masculinos) ocorreram para os genitores Taiwan A-144 (0,5449) e Pusa Napier nº 2 (0,3381), Tabela 5, pôde-se concluir que as melhores combinações híbridas e as respectivas estimativas de \hat{s}_{ij} foram 1x7 (0,1159) e 3x7 (0,0287), já que em ambas os dois genitores apresentaram valores positivos de para a CGC.

Com relação às estimativas da CEC para %FDA, as combinações híbridas que apresentaram valores positivos de \hat{s}_{ij} foram 1x7 (0,1771), 2x6 (1,3644), 2x8 (1,5424), 4x5 (0,5913) e 4x8 (0,1389). Entre elas, as combinações 2x6 e 4x5 não se enquadraram às exigências propostas por Cruz e Regazzi (1997), ou seja, nenhum dos genitores apresentava efeito favorável da capacidade geral de combinação (valores positivos). Deste modo, as melhores combinações híbridas foram 1x7, 2x8 e 4x8. O híbrido 2x8 foi selecionado também para as características %FDN, %CEL e %LIG, o que corrobora o potencial desta combinação híbrida em fornecer um material de melhor qualidade para a utilização energética. Como desvantagens desta combinação, foram os reduzidos valores médios obtidos para DC e LL, 11,61 e 2,38, respectivamente, descritos na Tabela 10.

Os melhores resultados para a característica %CEL, foram revelados pelos híbridos 2x5, 2x6, 2x8, 4x5 e 4x8, com os respectivos valores positivos de 0,0135, 1,2804, 1,0641, 0,3919 e 0,1945. Considerando as estimativas positivas da CGC dos genitores Taiwan A-144 (0,3864), Pusa Napier nº 2 (0,1688) e Napier nº 2 (0,3905), pôde-se destacar que as melhores combinações foram 2x8 e 4x8, já que pelo menos um dos seus genitores apresentou um valor positivo para CGC.

Ao analisar as combinações híbridas selecionadas para as características PMS, NP, DC, %FDN, %FDA e %LIG, observou-se que algumas delas ou têm

alta CEC para PMS, NP e DC ou alta CEC para %FDN, %FDA e %LIG, com exceção apenas para a combinação 2x6, que obteve as melhores estimativas tanto para as características morfoagronômicas como para as características da qualidade da biomassa.

3.2.5 CONCLUSÕES

Foi caracterizado o envolvimento de efeitos gênicos aditivos no controle das características avaliadas. Para as características morfoagronômicas como ALT, LL, PMS e para as características da qualidade da biomassa como %FDN, %FDA, %CEL, %HEM e %LIG, foram observados efeitos aditivos apenas nos genitores do grupo 1 (genitores masculinos).

Com base na superioridade das magnitudes de CGC dos genitores masculinos em relação aos femininos, tanto para as características morfoagronômicas quanto para as da qualidade da biomassa, foi observada variabilidade genética entre os genitores masculinos.

A estratégia de melhoramento adotada por meio da hibridação poderá proporcionar ganhos para a maioria das características de interesse para o setor energético.

Para as características produção de matéria seca (PMS), porcentagem de hemicelulose (%HEM) e porcentagem de lignina (%LIG), em que não foram registrados efeitos gênicos de dominância, não existe variabilidade genética entre as combinações híbridas.

Os genitores Vruckwona, Porto Rico 534- B e Taiwan A-146 são os mais promissores para integrar em programas de melhoramento e visam a contribuir geneticamente para o aumento da produção de matéria seca total.

Para programas de melhoramento, cujo foco seja melhorar a qualidade do conteúdo da matéria seca, poderão ser indicados os genitores Taiwan A-144 e o Napier nº 2.

As melhores combinações híbridas para PMS foram 1x5 (Taiwan A-144 x Mercker Santa Rita), 1x8 (Taiwan A-144 x Napier nº 2), 2x6 (Vruckwona x Taiwan

A-146), 3x7 (Pusa Napier nº 2 x Mercker S.E.A.) e 4x5 (Porto Rico 534-B x Mercker Santa Rita).

Os cruzamentos 2x6 (Vruckwona x Taiwan A-146) e 4x5 (Porto Rico 534-B x Mercker Santa Rita) destacaram-se com relação às características relacionadas aos teores de fibra (%FDN e %FDA) da matéria seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akin, D. E. (1989) Histological and physical factors affecting digestibility of forages. *J. Agron.*, 81: 17-25.
- Allard, R.W. (1971) Princípios do melhoramento genético das plantas. São Paulo: Edgard Bluchner. 381 p.
- Andrade, I. F.; Gomide, J. A. (1971) Curva de crescimento e valor nutritivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum).1 "A - 146 Taiwan". *Revista Ceres*, Viçosa, 18(100): 431 - 447.
- Andrade, A. P., Quadros, D. G., Bezerra, A. R. G., Almeida, J. A. R., Silva, P. H. S., Araújo, J. A. M. (2012) Aspectos qualitativos da silagem de capim-elefante com fubá de milho e casca de soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:1209-1218.
- Andreoli, C. (2008) Convergência de agricultura e energia: Produção de biomassa celulósica para biocombustíveis e eletricidade. *Economia & Energia*, 66: 3-14.
- Assis, L. C. da S. L. C.; Lira, M. de A.; Santos, M. V. F. dos; Júnior, J. C. B. D.; Cunha, M. V. de (2010) Estimativa de parâmetros genéticos sob duas estratégias de avaliação em híbridos intra e interespecíficos de capim-elefante *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39 (12): 2589-2597

- Barbé, T. C. (2012) Variação de caracteres morfoagronômicos, fisiológicos e da qualidade da biomassa energética de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em função da idade da planta. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 140p.
- Barbosa, S. et al. (2003) Cytogenetics of *Pennisetum purpureum* Schumach. x *Pennisetum glaucum* L. hybrids and their parents. *Cienc. Agrotec.*, Lavras, 27(1): 26-35.
- Bennet, H. W. (1976) Pasto Johnson, pasto alfombra y otras gramíneas para El sur húmedo de los Estados Unidos. In: Hugues, H.D.; Heath, M.E.; Metcalfe, D.S., eds. Forrajes. Mexico, C.E.C.S.A., Cap. 29. p.321-34.
- Bispo, J. (2010) São Desidério é sede da primeira termelétrica do Brasil movida a biomassa. *Jornal de São Desidério*, São Desidério - Bahia, Edição zero, p. 03.
- Borém, A. (2001) Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV. 300p.
- Botrel, M. A., Pereira, A. V., Freitas, V. P., Xavier, D. F. (2000) Potencial forrageiro de novos clones de capim-elefante. *Revista Brasileira Zootecnia* 29: 334-340.
- Brunken, J.N. (1977) A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, New York. 64 (2): 161 – 176.
- Campos, F.B.; Lanna, D.P.D.; Bose, M.L.V.; boin, C.; Sarmiento, P. (2002) Degradabilidade do capim elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro / gás. *Scientia Agricola*, Piracicaba. 59 (2): 217-225.
- Cruz, C. D.; Vencovsky, R. (1989) Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto. 12 (2): 425 - 438.

- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J. (1997) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 390p.
- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. (2004) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3. ed. Viçosa: Editora UFV. (1): 480p.
- Cruz, R. S., Santos, A. C., Castro, J. G. D., Alexandrino, E., Caraça, D. C., Diniz, J. P., (2010) Produtividade do Capim-Cameroon estabelecida em duas classes de solos e submetida a doses crescentes de nitrogênio no norte tocantinense. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 32: 393-399.
- Daher, R. F.; Vazquez, H. M.; Pereira, A. V.; Fernandes, A. M. (2000) Introdução e Avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 29 (5): 1296-1301.
- Daher, R. F., Pereira, A. V., Pereira, M. G., Lédo, F. J. S., Amaral Junior, A. T., Rocabado, J. M. A., Ferreira, C. F., Tardin, F. D. (2004) Análise de trilha de caracteres forrageiros do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Ciência Rural*, 34: 1531-1535.
- Dall'agnol, M., Basso, S. M. S., Nascimento, J. A. L., Silveira, C. A. M., Fischer, R. G. (2004) Produção de forragem de capim-elefante sob clima frio: curva de crescimento e valor nutritivo. *R. Bras. Zootec*. 33: 1110-1117.
- Davide, L.C. et al. (2007) Variação cromossômica numérica em *Pennisetum*. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras. 31(2): 398-405.
- Delfino J. (2009) Capim-elefante nas olarias: Nova alternativa para aquecer os fornos na Baixada Campista. *Jornal O Diário*, Campos dos Goytacazes, RJ. 22 mar. Economia/Serviços. p.6.
- Dias, F.J.; Jobim, C.C.; Branco, A.F.; Oliveira, C.A.L. (2008) Efeito de fontes de fósforo sobre a digestibilidade in vitro da matéria seca, da matéria orgânica e

dos nutrientes digestíveis totais do capim - Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Mombaça). *Semina Ciências Agrárias*, Londrina. (29): 211-220.

Embrapa (b) Agrobiologia. *Energia limpa Capim-elefante pode substituir o carvão mineral* citado 12/02/2013 visualizado em: http://www.cnpab.embrapa.br/imprensa/pautas/pauta_capim_elefante.html

Falconer, D.S. (1981) *Introduction to quantitative genetics*. 2.ed. London: Longman. 340p.

Falconer, D. S. (1987) *Introduction to quantitative genetics*. 2. ed. London: Longman. 340p.

Ferraris, R. (1979) *Agronomic studies on elephant grass as an agro-industrial crop*. In: Australian Division of Chemical Technology Research Review 1978-1979. Melbourne: CSIRO. P. 10-22.

Finkner, R. E.; Finkner, M. D.; Glaze, R. M. & Maese, G. (1981) Genetic control for percentage grain protein and grain yield in grain sorghum. *Crop Science*, Madison, 21: 139-142.

Flores, R. A., Urquiaga, S. S.; Alves, B. J. R.; Collier, L. S.; Zanetti, J. B.; Prado, R. M. (2012) Nitrogênio e idade de corte na qualidade da biomassa de capim-elefante para fins agroenergético cultivado em Latossolo. *Semina: Ciências Agrárias (Online)*, 16: 1282-1288.

Freitas, N. S. et al. (2000) Caracterização e diversidade genética do capim-elefante e seus híbridos com milho mediante padrões isoenzimáticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 35 (6): 1125-1133.

Freitas, E.V., Lira, M.A., Dubeux Jr., J.C.B. Santos, M. V. F., Mello, A. C. L., Tabosa, J. N., Farias, I. (2004) Características produtivas e qualitativas de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) avaliados sob

- pastejo na Zona da Mata de Pernambuco. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26:251-257.
- Gardner, C.O.; Eberhart, S.A. (1966) Analysis and interpretation of variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, Raleigh, 22: 439-452.
- Goldemberg, J. (2009) Biomassa e energia. *Quim. Nova*, 32:582-587.
- Griffing, B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, v.9, p.463-493.
- Hanna, W.W. (1994) Elephantgrass improvement. In: Simpósio sobre capim-elefante, 2., 1994, Juiz de Fora a. Anais... Juiz de Fora: Embrapa – CNPGL, P. 72-81.
- Hanna, W. W. (1999) Melhoramento do capim-elefante. In: Passos, L.P.; Carvalho, L.A.; Martins, C.E.; Bressan, M.; Pereira, A.V., eds. *Biologia e Manejo do Capim-Elefante*. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL. p.19-27.
- Holm, L. D.; Plucknett, J.; Pancho, and J. Herberger. (1977). *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. University of Hawaii Press, Honolulu. 609p.
- Instituto Hórus de Conservação e desenvolvimento ambiental citado 2/02/2013
visualizado em: 20/07/2013
http://www.institutohorus.org.br/index.php?modulo=inf_ficha_pennisetum_purpureum.
- Jacquez, A. V. A. (1997) Caracteres morfofisiológicos e suas implicações no manejo. In: Carvalho, M. M.; Alvim, M. J.; Xavier, D. F. *Capim-elefante: produção e utilização*. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, p. 31 – 47.
- Kempthorne, O; Curnow, R.N. (1961) The partial diallel cross. *Biometrics*. (17): 229-250.

- Ledo, F.J.S.; Casali, V.W.D.; Cruz, C.D.; Ledo, C.A.S. (2001) Capacidade de combinação em cultivares de alface com base em caracteres agrônômicos. *Ciência Agrotecnologia*, Lavras. 25 (4): 831-839.
- Lemus, R; Brummer, E. C; Moore, K.J; Molstad. N.E; Burras, C.L; Barker, M.F; (2002) Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: *Biomass & Bioenergy*, 23: 433-442.
- Lima, R. S. N. (2010) Estimativa da diversidade genética entre clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum) baseada em marcadores de DNA (RAPD e ISSR). Dissertação. Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 93p.
- Magalhães, J.A.; Rodrigues, B.H.N.; Carneiro, M.S. de S.; Andrade, A.C.; Costa, N.L.; Pinto, M. do S. de C.; Filho, W. de J.E.M. (2009) Influência da adubação nitrogenada e da idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante, *REDVET - Revista Eletrônica de Veterinária*, Málaga,10(4): 1-13.
- McKendry, P. (2002) Energy production from biomass (part 1): overview of biomass *Bioresource Technology*, 83:37–46.
- Meinerz, G. R., Olivo, C. J., Agnolin, C. A., Dullius, A. P., Moraes, R. S., Mombach, G., Foletto, V., Machado, P. R. (2011) Produção e valor nutritivo da forragem de capim-elefante em dois sistemas de produção. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40: 2673-2680.
- Morais, R. F., Souza, B. J., Leite, José Marcos, Soares, L. H. B., Alves, B. J. R., Boddey, R. M., Urquiaga, S. (2009) Elephant Grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesq. agropec. bras.* 44(2): 133-140.

- Moreira, P. C., Wascheck, R. C., Dutra, A. R., Grandsire, C., Almeida, O. C., Moreira, S. O. L., Oliveira, D. L. (2008) Utilização de capim-elefante para alimentação de bovinos, *Estudos*, 35: 429-449.
- Oliveira, E. S. (2012) Variação de caracteres morfoagronômicos e da qualidade da biomassa em seis genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em função de diferentes doses de nitrogênio e análise da viabilidade econômica em Campos dos Goytacazes, RJ. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 131p.
- Oliveira, A. V. de (2013) Avaliação do desenvolvimento e de características morfoagronômicas e qualidade de biomassa energética de 73 genótipos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes - RJ. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 76p.
- Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. AgrosoftBrasil. Disponível em: www.agrosoft.org.br/?q=node/26484. Acessado em: 20/07/2013.
- Pacheco, F., (2006) Energias Renováveis: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento, SEI: 4-11.
- Pereira, A. V. (1994) Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: Simpósio sobre Capim-Elefante, 2, Juiz de Fora. Anais... Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1994. p.1-11.
- Pereira, A.V.; Ferreira, R.P.; Passos, L.P.; Freitas, V.P.; Verneque, R.S.; Barra, R.B.; Paula e Silva, C.H. (2000) Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante e híbridos de capim-elefante x milho, em função da idade da planta. *Cienc. Agrotec.*, Lavras, 24(2): 490-499.

- Pereira, A.V.; Valle, C.B.; Ferreira, R.P.; Miles, J.W. (2001) Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass, L.L.; Valois, A.C.C.; Melo, I.S.; Valadares-Ingres, M.C. (Ed.). Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, p.549-602.
- Pereira, A. V.; Daher, R. F.; Pereira, M. G.; Ledo, F. J. S.; Sobrinho, F. S.; Amaral Junior, A. T.; Freitas, V. P.; Pereira, T. N. S.; Ferreira, C. F. (2006a) Análise de cruzamentos dialélicos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). 1. Características morfoagronômicas. *Acta Scientiarum Agronomy*, 28 (2): 267 - 275.
- Pereira, A. V.; Daher, R. F.; Pereira, M. G.; Lédo, F. J. S.; Sobrinho, F. S.; Amaral Junior, A. T.; Freitas, V. P.; Pereira, T. N. S.; Ferreira, C. F. (2006b) Análise de cruzamentos dialélicos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). 2. Características bromatológicas. *Acta Scientiarum Agronomy*, 28 (2): 277 – 285.
- Pereira, A. V., Machado, M. A., Azevedo, A. L. S., Nascimento, S., Campos, A. L., Lédo, F. J. S. (2008) Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *R. Bras. Zootec.*, 37: 1216-1221.
- Queiroz Filho, J. L.; Silva, D. S.; Nascimento, I. S. (2000) Produção de Matéria Seca e Qualidade do Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo, em diferentes idades de corte. *Rev. bras. zootec.*, 29 (1): 69-74.
- Quesada, D. B. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos de diferentes genótipos de capim-elefante com potencial para uso energético. Tese (Doutorado em Agronomia) – Seropédica - RJ, Universidade Federal Rural do rio de Janeiro - UFRRJ, 76p.
- Ramalho, M.A.P.; Santos, J.B.; Zimmermann, M.J. O. (1993) Genética Quantitativa em Plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: Editora da UFG, Cap. 5, 271p.

- Rodriguez, L. C. E.; Bueno, A. R. S; Rodrigues, F. (1997) Rotações de eucaliptos mais longas: Análise volumétrica e econômica. *Scientia Forestalis*, 51: 15-28.
- Rodrigues, L.R.A.; Monteiro, F.A.; Rodrigues, T.J.D. (2001) Capim-elefante. In: Peixoto, A.M., Pedreira, C.G.S., Moura, J.V., Faria, V.P. (Eds.) Simpósio sobre manejo da pastagem, 17, Piracicaba, 2ª edição. Anais... Piracicaba: FEALQ, p.203-224.
- Rossi, D. A. (2010) Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no norte fluminense. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 66p.
- Russell, W. A. & Eberhart, S. A. (1975) Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent selection and testcross selection programs. *Crop Science*, 13: 257-61.
- Samson, R. Mani, S.; Boddey, R.; Sokhansanj, S.; Quesada, D.; Urquiaga, S.; Reis, V.; Ho Lem, C. (2005) The potential of c4 perennial grasses for developing a global Bioheat Industry. *Plant Science*, Limerick, 24: 1-35.
- Santos, E. A.; Silva, D.S.; Queiroz Filho, J. L. (2001) Perfilhamento e algumas características morfológicas do capim-elefante cv. Roxo sob quatro alturas de corte em duas épocas do ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30 (1): 24-30.
- Silva, M. M. P. et al. (2002) Composição bromatológica, disponibilidade de forragem e índice de área foliar de 17 genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sob pastejo, em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Zootecnia* 31 (1): 313-320.
- Silva, D. J., Queiroz, A. C. de (2002) Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa. 235p.

- Silva, V.Q.R. (2009) Melhoramento de milho pipoca: capacidade combinatória de linhagens, parametrização heterótica e herança de características agrônômicas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 207p.
- Silva, A. L. C., Santos, M. V. F., Dubeux Júnior, J. C. B., Lira, M. A., Ferreira, R. L. C., Freitas, E. V., Cunha, M. V., Silva, M. C. (2010) Variabilidade e herdabilidade de caracteres morfológicos em clones de capim-elefante na Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 2132-2140.
- Silva, E., Rocha, C. R. (2010) Eucalipto e capim elefante: características e potencial produtivo de biomassa. *Revista Agrogeoambiental*, p. 143-152.
- Silva, V. Q. R. (2011) Dialelo parcial em capim-elefante: Capacidade combinatória em caracteres morfoagronômicos e bromatológicos em Campos dos Goytacazes, RJ. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.
- Souza Sobrinho, F.; Pereira, A. V.; LEDO, F. J. S. et al. (2005) Avaliação agrônômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40 (9): 873-880.
- Sprague, G. F.; Tatum, L. A. (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. *Journal American Soc. Agronomy*. 34: 923-932.
- Techio, V. H.; Davide, L. C.; Pereira, A. V. (2002) Cytotaxonomy of some species and of interspecific hybrids of *Pennisetum*. *Genetics and Molecular Biology*, 25: 203-209.
- Techio, V. H. et al., (2005) Genomic analysis in *Pennisetum purpureum* x *P. glaucum* hybrids. *Caryologia, Firenze*. 58(1): 28-33.

- Techio, V. H. et al., (2006) Meiosis in elephant grass (*Pennisetum purpureum*), pearl millet (*Pennisetum glaucum*) (Poaceae, Poales) and their interspecific hybrids. *Genet. Mol. Biol.*, Ribeirão Preto. 29 (2): 353-362.
- Techio, V. H.; Davide, L. C.; Souza, T. M.; Pereira, A. V. (2008) Número cromossômico em acessos de *Pennisetum* spp. (Poaceae, Poales) *Acta Sci. Biol. Sci. Maringá*. 30 (3): 291-294.
- Urquiaga, S.; Alves, B. J. A.; Boddey, R. M. (2004) Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. In: Congresso brasileiro de mamona, 1, Campina Grande. Energia e sustentabilidade: resumos. Campina Grande: [s.n.] 1: 22.
- Urquiaga S.; Alves, B.; Boddey R.M. Capim Elefante: Uma nova fonte alternativa de energia. *Ambiente Brasil* (<<http://www.ambientebrasil.com.br>). Acesso em 23 de novembro de 2012.
- Van Soest, P.J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca, Cornell University Press, 476p.
- Viana, J. M. S. (2000) The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis. *Genetics and Molecular Biology*. 23 (4): 877-881.
- Vitor, C. M. T.; Fonseca, D. M.; Cóser, A. C.; Martins, C. E.; Nascimento Júnior, D.; Ribeiro Júnior, J. I. (2009) Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38: 435-442.
- Wilson, N. D.; Weibel, D. E. & McNew, R. W. (1978) Diallel analyses of grain yield, percent protein, and protein yield in grain sorghum. *Crop Science*, Madison, 18: 491-495.

Xavier, D.F.; Daher, R.F.; Botrel, M. A .; Pereira, J. R. (1993) Poder germinativo de sementes de capim-elefante. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 22(4): 565-571.

Xia, Z., Hongru, G., Chenglong, D., Xiaoxian, Z., Jianli, Z., Nengxiang, X. (2010) Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum*. *Tropical Grasslands*, 44: 95–102.

Zhang, X.; Gu, H.; Ding, C.; Zhong, X.; Zhang, J.; Xu, N. (2010) Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum*. *Tropical Grasslands*, 44: 95-102.