

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
DE HETEROSE EM GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS
ENERGÉTICOS**

BRUNA RAFAELA DA SILVA MENEZES

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
SETEMBRO – 2014**

**CAPACIDADE COMBINATÓRIA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
DE HETEROSE EM GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS
ENERGÉTICOS**

BRUNA RAFAELA DA SILVA MENEZES

“Tese 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 Doutor em Genética e Melhoramento
de Plantas.”

Orientador: Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
SETEMBRO – 2014

CAPACIDADE COMBINATÓRIA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
DE HETEROSE EM GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS
ENERGÉTICOS

BRUNA RAFAELA DA SILVA MENEZES

“Tese 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 Doutora em Genética e Melhoramento
de Plantas.”

Aprovada em 17 de setembro de 2014.

Comissão Examinadora:

Dr. Antonio Vander Pereira (D. Sc. em Genética e Melhoramento) –
Embrapa Gado de Leite

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

Prof. Messias Gonzaga Pereira (Ph. D. Plant Breeding) - UENF

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

DEDICATÓRIA

A Deus, meu Fiel Amigo, que me deu forças
para terminar este trabalho

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus que, em nenhum momento, me desamparou.

A minha mãe, Célia da Silva Menezes, e ao meu pai, Edgard dos Santos Menezes, por sempre me apoiarem e confiarem no meu potencial, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao meu esposo Renato Cardoso de Oliveira, amigo de todas as horas. Presente de Deus em minha vida.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela concessão da bolsa de estudos e oportunidade de desenvolvimento do meu trabalho.

Ao curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de conclusão do doutorado na área em que sempre desejei atuar.

Ao meu orientador, Rogério Figueiredo Daher, pela paciência, compreensão e valiosa orientação.

Aos professores, Geraldo de Amaral Gravina e Messias Gonzaga Pereira, e ao pesquisador, Antônio Vander Pereira, por terem aceito o convite para participar da banca de avaliação e pelas contribuições dadas ao trabalho.

A José Daniel Almeida, por ser um excelente profissional e sempre estar disposto a me ajudar.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do trabalho.

A minha família, meu irmão, Wellington Menezes, e minhas cunhadas, Isabella Cardoso, Veridiana Oliveira e Taiana Costa, pelo carinho.

A Josie Cloviane de Oliveira Freitas, pela amizade e pela pessoa maravilhosa que é.

Aos meus “irmãos e irmãs”, André Oliveira, Liliane Barroso, Larissa Athayde, Lorraine Oliveira, Verônica Brito, Erina Rodrigues, Avelino Rocha, Rafael Freitas, Maria Araújo, Bruno Almeida e Tatiane Barbé, pela ajuda na coleta de dados do experimento e por compartilhar em meus momentos de dificuldade. Não me esquecerei da amizade e o companheirismo de vocês.

Aos funcionários, Romildo Gottardo, Fernando Moraes, Dorian Felício, Júlio Meirelles e Enildo dos Santos, pelos cortes no capim-elefante e pelos momentos de descontração.

Aos funcionários do LZNA, Cláudio Lombardi e Almir Ribeiro, pelo apoio na realização das análises em laboratório.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Precipitação pluvial (mm) durante o período de crescimento do capim-elefante no campo (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012/2013/2014).....	15
Figura 2: Inflorescência feminina protegida (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).....	16
Figura 3: Semeadura dos híbridos em bandejas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).....	17
Figura 4: Banco de híbridos (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).....	17
Figura 5: Estacas utilizadas para o plantio da área experimental (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise do solo realizada antes do plantio dos genótipos de capim-elefante na área experimental (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).....	14
Tabela 2: Identificação dos dez genitores e uma testemunha de capim-elefante da coleção de trabalho do programa de melhoramento de capim-elefante da UENF (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).....	16
Tabela 3: Esquema de cruzamentos do dialelo parcial com dez genitores (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).	18
Tabela 4: Esquema do resumo da análise de variância individual, delineamento em blocos ao acaso.....	21
Tabela 5: Esquema do resumo da análise de variância no experimento em faixas, delineamento em blocos ao acaso.....	22
Tabela 6: Dialelo parcial envolvendo combinações híbridas e genitores de dois grupos (G1/G2).....	23
Tabela 7: Esquema do resumo da análise de variância para CGC e CEC do dialelo parcial com a decomposição da soma de quadrados de tratamentos...	25
Tabela 8: Esquema do resumo da análise de variância de um dialelo parcial envolvendo genitores de dois grupos (G_1 e G_2) e suas combinações híbridas.	27
Tabela 9: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no primeiro corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	30

Tabela 10: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no primeiro corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	31
Tabela 11: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	32
Tabela 12: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	34
Tabela 13: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no segundo corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2014).....	35
Tabela 14: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no segundo corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2014).....	36
Tabela 15: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos três cortes e três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	37
Tabela 16: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos três cortes e três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	37
Tabela 17: Estimativas dos quadrados médios da produção de matéria seca média dos cortes das águas (Águas), no corte da seca (Seca), médias dos três cortes, média do 1º ano e porcentagem na produção de matéria seca no corte da seca (%Seca) em relação à produção do 1º ano (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	38
Tabela 18: Altura da planta (ALT), diâmetro do colmo (DC), largura da lâmina foliar (LL), número de perfilhos por metro linear, porcentagem de matéria seca (%MS) e produção de matéria seca em genótipos de capim-elefante nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	41
Tabela 19: Altura da planta (ALT), diâmetro do colmo (DC), largura da lâmina foliar (LL), número de perfilhos por metro linear, porcentagem de matéria seca (%MS) e produção de matéria seca em genótipos de capim-elefante na época da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	42

Tabela 20: Produção de matéria seca total (PMST – t.ha ⁻¹) dos três cortes de avaliação em 36 genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	43
Tabela 21: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	44
Tabela 22: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	45
Tabela 23: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	46
Tabela 24: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	47
Tabela 25: Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (\hat{g}_i e \hat{g}_j) de dez genótipos de capim-elefante para seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	49
Tabela 26: Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (\hat{g}_i e \hat{g}_j) de dez genótipos de capim-elefante para seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	50
Tabela 27: Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) para seis características morfoagronômicas de 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	52
Tabela 28: Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) para seis características morfoagronômicas de 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	54

Tabela 29: Estimativa da heterose relativa para seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 híbridos nos cortes das águas obtidos por cruzamento dialélico parcial entre dez genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	56
Tabela 30: Estimativa da heterose relativa para seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 híbridos no corte da seca obtidos por cruzamento dialélico parcial entre dez genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	57
Tabela 31: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo, para a característica produção de matéria seca total, dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	58
Tabela 32: Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (\hat{g}_i e \hat{g}'_j) de dez genótipos de capim-elefante, para a característica produção de matéria seca total, avaliada em 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	59
Tabela 33: Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) e da heterose relativa, para a característica produção de matéria seca total, de 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	60
Tabela 34: Estimativa da heterose relativa para seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 híbridos no corte da seca obtidos por cruzamento dialélico parcial entre dez genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	61
Tabela 35: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante nos cortes das águas, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	62
Tabela 36: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante nos cortes das águas, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	63
Tabela 37: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante no corte da seca, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	63

Tabela 38: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante no corte da seca, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	64
Tabela 39: Estimativas da média dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores de capim-elefante nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	66
Tabela 40: Estimativas da média dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	68
Tabela 41: Estimativas dos efeitos de heterose média (\bar{h}), varietal (\hat{h}_i) e específica (\hat{s}_{ij}), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores e 25 combinações híbridas de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).....	70
Tabela 42: Resumo da análise de variância da produção de matéria seca total em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante dos três cortes de avaliação, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	71
Tabela 43: Estimativas da média dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para a produção de matéria seca total em dez genitores de capim-elefante dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	72
Tabela 44: Estimativas dos efeitos de heterose média (\bar{h}), varietal (\hat{h}_i) e específica (\hat{s}_{ij}), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para a produção de matéria seca total em dez genitores e 25 combinações híbridas de capim-elefante dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	73
APÊNDICE A: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos dois cortes das águas e três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	91
APÊNDICE B: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos dois cortes das águas e três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).....	91

SUMÁRIO

RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2. 1. O capim-elefante: origem e aspectos gerais.....	3
2. 2. Uso como fonte alternativa de energia.....	5
2. 3. Melhoramento do capim-elefante.....	7
2. 4. Análises dialéticas e aplicações no capim-elefante.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Condição de cultivo e materiais genéticos.....	14
3.2. Obtenção dos híbridos.....	16
3.3. Implantação e condução do experimento para avaliação dos genitores, híbridos e testemunha.....	18
3.4. Avaliação dos híbridos, genitores e testemunha.....	19
3.5. Delineamento experimental.....	20
3.6. Análise estatística e genética.....	20
3.6.1. Análise de variância.....	21
3.6.2. Análises dialéticas.....	22
3.6.2.1. Método de Griffing adaptado a dialelos parciais.....	23
3.6.2.2. Método de Gardner e Ebehart adaptado a dialelos parciais.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1. Análise de variância.....	29

4.2. Agrupamento de médias.....	38
4.3. Análise dialélica de Griffing adaptada a dialelos parciais.....	44
4.3.1. Análise de variância para a capacidade de combinação.....	44
4.3.2. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação.....	47
4.3.3. Estimativas dos efeitos da capacidade específica e análise de heterose.....	50
4.3.4. Análise da capacidade combinatória para a produção de matéria seca total.....	58
4.4. Análise dialélica de Gardner e Eberhart adaptada a dialelos parciais...	60
4.4.1. Análise de variância para genitores e heteroses.....	60
4.4.2. Efeito de variedades.....	64
4.4.3. Efeitos de heterose média, varietal e específica.....	66
4.4.4. Análise dos efeitos de heterose para produção de matéria seca total	71
5. CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
APÊNDICE.....	90

RESUMO

MENEZES, Bruna Rafaela da Silva; D. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Setembro de 2014; CAPACIDADE COMBINATÓRIA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS DE HETEROSE EM GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS; Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher.

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é altamente eficiente na fixação de gás carbônico (CO₂) atmosférico com potencial de produção de 80 t.ha⁻¹. ano⁻¹. Ao contrário do eucalipto que leva 7 anos para ser cortado, no capim-elefante, podem ser efetuados dois cortes ao ano, superando o eucalipto em produtividade. A biomassa vegetal pode ser alternativa ao uso de combustíveis fósseis para a produção de energia ambientalmente sustentável. O melhoramento do capim-elefante é importante para a obtenção de cultivares mais produtivas e adaptadas a diferentes ecossistemas. Os objetivos desse trabalho foram avaliar o comportamento *per se*, por meio de características morfoagronômicas, estimar e avaliar a capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores e a capacidade específica de combinação (CEC) das combinações híbridas, estimar e avaliar os efeitos heteróticos e selecionar híbridos superiores para a produção de energia. O experimento foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, da PESAGRO-RJ, em Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense, em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Os cruzamentos foram obtidos entre genitores contrastantes em esquema de dialelo parcial 5 (genitores femininos) x 5 (genitores masculinos). Os

tratamentos foram os dez genitores, as 25 combinações híbridas e uma testemunha. Foram efetuados três cortes de avaliações (abril e outubro de 2013 e abril de 2014). As características avaliadas foram: altura das plantas (ALT), em m; diâmetro do colmo (DC), em cm; largura da lâmina foliar (LL), em cm; número de perfilhos (NP), em m; porcentagem de matéria seca (%MS) e produção de matéria seca (PMS), em t.ha⁻¹. Foram realizadas, para os cortes das águas e da seca, as análises de variância; agrupamentos das médias pelo teste de Scott-Knott (P<0,05); análise da capacidade de combinação pelo método de Griffing (1956), adaptado por Geraldi e Miranda Filho (1988); e análise dos efeitos de heterose pelo método de Gardner e Eberhart (1966), adaptado por Miranda Filho e Geraldi (1984) para dialelos parciais. Verificou-se que os híbridos H1 (Cubano Pinda x Mercker), H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México), H4 (Cubano Pinda x Taiwan A-144), H6 (Cameroon – Piracicaba x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H10 (Cameroon – Piracicaba x Roxo), H13 (P241-Piracicaba x Mercker 86-México), H14 (P241-Piracicaba x Taiwan A-144), H15 (P241-Piracicaba x Roxo), H16 (IAC-Campinas x Mercker), H17 (IAC-Campinas x Três Rios) e H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México), H19 (IAC-Campinas x Taiwan A-144), H21 (Guaçu/IZ.2 x Mercker) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) apresentaram, na avaliação do comportamento *per se* dos genótipos, alta produção de biomassa tanto nos cortes das águas quanto na seca. Ao avaliar a capacidade de combinação e os efeitos de heterose, observou-se que houve efeito de dominância para a maioria das características avaliadas e que as combinações híbridas H1 (Cubano Pinda x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H17 (IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu IZ.2 x Roxo) apresentaram-se promissoras para a seleção de clones com maior produção de biomassa energética.

ABSTRACT

MENEZES, Bruna Rafaela da Silva; D. Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; September of 2014; COMBINING ABILITY AND PARAMETERS ESTIMATES OF HETEROSIS OF ELEPHANT GRASS GENOTYPES FOR ENERGY PURPOSES; Advisor: Rogério Figueiredo Daher.

The elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) is highly efficient in fixing carbon dioxide (CO₂) atmospheric potential production of 80 t.ha⁻¹.year⁻¹. Unlike Eucalyptus takes seven years to be cut in the elephant grass can be made two cuts per year, outpacing the eucalyptus productivity. The plant biomass could be alternative to fossil fuels for the production of environmentally sustainable energy. The improvement of elephant grass has been important for the development of cultivars adapted to different ecosystems. The objectives of this work were to evaluate the *per se* behavior through agronomic traits, to estimate and evaluate the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of hybrid combinations, estimate and evaluate heterosis effects and select superior hybrids for the production of energy. The experiment was conducted at the Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, of PESAGRO-RJ, in Campos dos Goytacazes, in the North Fluminense, in randomized blocks, with three replications. The crosses were obtained between contrasting parents in partial diallel mating scheme 5 (female parents) x 5 (male parents). The treatments were the ten parents, the twenty-five hybrid combinations and a control. Three evaluation cuts (April and October 2013 and April 2014) were performed. The evaluated traits were: plant height (PH), in m; stem diameter (SD),

in cm; width of the leaf (WL), in cm; number of tillers per meter (NT); percentage of dry matter (%DM) and dry matter production (DMP). Were carried out, cuts water and drought, variance analyzes, associations of the middle by the Scott-Knott test ($P < 0.05$), analysis of combining ability by the method of Griffing (1956) and adapted by Miranda Filho and Geraldi (1988), and analysis of the effects of heterosis by the method of Gardner and Eberhart (1966) adapted by Geraldi and Miranda Filho (1984) for partial diallel. It was found that the hybrid H1 (Cubano Pinda x Mercker), H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México), H4 (Cubano Pinda x Taiwan A-144), H6 (Cameroon – Piracicaba x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H10 (Cameroon – Piracicaba x Roxo), H13 (P241-Piracicaba x Mercker 86-México), H14 (P241-Piracicaba x Taiwan A-144), H15 (P241-Piracicaba x Roxo), H16 (IAC-Campinas x Mercker), H17 (IAC-Campinas x Três Rios) e H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México), H19 (IAC-Campinas x Taiwan A-144), H21 (Guaçu/IZ.2 x Mercker) and H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) showed high biomass production in both cuts of the water as the drought in the evaluation of the behavior genotype *per se*. To evaluate the combining ability and heterosis effects was observed that there was no effect of dominance for most traits and that hybrid combinations H1 (Cubano Pinda x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H17 (IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) and H25 (Guaçu IZ.2 x Roxo) showed to be promising for the selection of clones with greater production of biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma planta de metabolismo C₄, ou seja, altamente eficiente na fixação de CO₂ (gás carbônico) atmosférico durante o processo da fotossíntese para a formação de biomassa vegetal (Lemus et al., 2002). A biomassa é fonte de energia renovável promissora, porque possui vantagens econômicas e ambientais significativas, ou seja, é de baixo custo e pode ser usada para reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Ibrahim et al., 2014).

Com o emprego de culturas perenes para a produção de biomassa e de sistemas eficientes na conversão, cerca de 250 milhões de hectares no mundo poderiam ser utilizados no desenvolvimento de indústria de bioenergia. A melhoria na produção e qualidade da biomassa pode ser obtida com os avanços no melhoramento vegetal (Samson et al., 2005). O estudo das características produtivas em capim-elefante é de grande importância para o sucesso do programa de melhoramento que visem à elevação do rendimento (Silva et al., 2008).

Análises dialélicas são úteis, na estimação de parâmetros para a seleção de genitores, para a hibridação e determinação da ação gênica que controla o caráter. Assim, a presença de desvios de dominância indica que a exploração do híbrido é favorável (Cruz et al., 2012). Desta forma, estas análises são importantes na escolha do método de condução das populações em um programa de melhoramento (Pimentel et al., 2013). Entre os métodos mais utilizados estão

o de Griffing (1956), por possibilitar a estimativa das CEC e CGC e a redução do número de cruzamentos via dialelos parciais.

Uma restrição ao uso de dialelos completos é o número de cruzamentos que são realizados, tendo como alternativa os dialelos parciais (Silva et al., 2013). Os dialelos parciais consistem na avaliação de genitores dispostos em dois grupos e suas combinações híbridas. Em alguns casos, são avaliadas as capacidades geral e específica de combinação e, em outros, o comportamento *per se* dos genitores e os efeitos heteróticos (Cruz et al., 2012). Geraldi e Miranda Filho (1988) apresentaram o modelo de Griffing (1956) adaptado para dialelos parciais para a estimação das capacidades de combinação. Da mesma forma, Miranda Filho e Geraldi (1984) adaptaram o modelo de Gardner e Eberhart (1966) para estimação de efeitos heteróticos em dialelos parciais.

De acordo com Pereira et al. (2006), ao avaliarem combinações híbridas resultantes do cruzamento entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milheto (*Pennisetum glaucum* L.) em dialelo parcial para fins de produção de forragem, verificaram que a estratégia de melhoramento intraespecífico em capim-elefante poderá proporcionar ganhos genéticos para a maioria das características morfoagronômicas avaliadas. Em Assunção et al. (2010), utilizando-se a metodologia Gardner e Eberhart (1966) de cruzamentos dialélicos, foi possível detectar heterose positiva para a maioria das características de interesse agrônomo e de qualidade do grão em milho doce. No entanto, não foram encontrados trabalhos utilizando essa metodologia em capim-elefante.

Os objetivos deste trabalho foram: 1) avaliar o comportamento *per se*, por meio de características morfoagronômicas, de combinações híbridas e de seus genitores para a produção de energia em duas épocas de crescimento, águas e seca; 2) estimar e avaliar a capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores e a capacidade específica de combinação (CEC) das combinações híbridas para a produção de biomassa energética; 4) selecionar híbridos superiores para a produção de energia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O capim-elefante: origem e aspectos gerais

A maior parte das poáceas forrageiras tropicais é oriunda das savanas da África, e várias variedades têm mostrado considerável adaptação a outros ecossistemas tropicais. O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem como centro de origem e variabilidade genética uma extensa área da África tropical, sendo as principais áreas de biodiversidade os territórios da Guiné, Moçambique, Angola, Zimbábue e sul do Quênia (Ferreira, 2005). Esta forrageira foi introduzida no Brasil entre 1920 e 1921 a partir de mudas trazidas dos Estados Unidos e Cuba (Cavalcante e Lira, 2010). É adaptada a altitudes de até 1.500 m, temperaturas entre 18 a 30°C e precipitações entre 800 a 4.000 mm (Alcantara e Bufarah, 1983).

O capim-elefante é uma planta perene, com número básico de cromossomos $x=7$ ($2n = 4x = 28$), alopoliplóide com comportamento diploide normal e genomas A'A'BB que compõem o conjunto gênico secundário (Martel et al., 1996). Por ser uma planta alógama, possui alto grau de heterozigose, e a taxa de polinização cruzada nessa espécie dependerá da época do florescimento e do arranjo físico das populações. Apresenta protoginia com intervalo médio de tempo decorrido entre a emissão dos estigmas e a abertura das anteras de 3 a 4 dias. A

variação entre a época de florescimento entre genótipos permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios (Pereira, 1994).

Pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Paniceae, gênero *Pennisetum* e seção Penicillaria, o capim-elefante possui hábito de crescimento cespitoso, de 3 a 5 m de altura e 2 cm de diâmetro, colmos eretos preenchidos por um parênquima suculento, e entrenós de até 20 cm. Sua inflorescência é uma panícula primária e terminal. Cada colmo pode apresentar uma ou um conjunto de panículas. A panícula tem em média 15 cm de comprimento, composta por espiguetas (sementes) de coloração amarelada ou púrpura. A planta de capim-elefante apresenta abundante lançamento de perfilhos aéreos e basilares, podendo formar touceiras densas (Deresz, 1999; Nascimento Junior, 1981; Alcantara e Bufarah, 1983).

As sementes de capim-elefante apresentam baixa germinação e vigor devido à depressão por endogamia. Isso porque a maioria das cultivares são clones, e as sementes produzidas provêm de autofecundação do mesmo genótipo. Por esse motivo, o capim-elefante é propagado vegetativamente (Pereira et al., 2001). A multiplicação, via propagação vegetativa, permite fixar um determinado genótipo o que, de certa forma, facilita o seu melhoramento.

A partir das cultivares Napier e Mercker e de novas introduções, desenvolveu-se, por meio de cruzamentos, grande número de genótipos que se encontram hoje distribuídos por quase todo o território brasileiro devido às ótimas condições edafoclimáticas encontradas para o cultivo do capim-elefante (Daher et al., 2002). De acordo com Pereira (1992), a variabilidade fenotípica existente no germoplasma do capim-elefante permite classificar os genótipos em cinco grupos: Cameroon, Napier, Mercker, Anão e o grupo dos híbridos interespecíficos.

Os genótipos pertencentes ao grupo Cameroon apresentam geralmente touceiras densas, porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basais, folhas largas e florescimento tardio. Algumas cultivares que representam esse grupo são: Cameroon, Cameroon-Piracicaba, Vruckwona e capim Cana D'África. O grupo Napier apresenta genótipos com touceiras abertas, colmos grossos, folhas largas e época de florescimento intermediária, sendo representado pelas cultivares Napier, Mineiro, Taiwan A-146. O grupo Mercker apresenta genótipos de menor porte, colmos finos, folhas finas e mais numerosas, e época de florescimento precoce, destacando-se as cultivares Mercker México, Elefante B e

Mercker Pinda. As principais características do grupo anão são o porte baixo (até 1,5 m de altura) e a sua elevada relação folha/colmo (entrenós curtos), tendo a cultivar Mott como principal representante. O grupo dos híbridos interespecíficos é composto por genótipos que resultaram do cruzamento entre espécies de *Pennisetum*, principalmente, *P. purpureum* e *P. glaucum*. Destacam-se as cultivares capim-elefante Paraíso (híbrido hexaploide), e os híbridos triploides Mineiro x 23A (milheto), Napier x 23A e o HV-241 (Elefante B x 23A) (Pereira, 1992).

O capim-elefante possui elevado potencial de produção e é utilizado de diversas formas como forrageira, seja para pastejo, ensilagem, feno ou capineira (Pereira et al., 2008). Embora a maioria dos programas de melhoramento do capim-elefante esteja direcionada ao seu uso como forrageira, devido ao elevado potencial de produção de matéria seca, essa espécie vem sendo estudada também como fonte alternativa de energia.

2.2. Uso como fonte alternativa de energia

O aquecimento do planeta nos últimos anos vem sendo uma preocupação mundial devido aos seus efeitos sobre a vida na Terra. Esse aquecimento é derivado da alta emissão de gases do efeito estufa (GEE), como o gás carbônico (CO₂), óxidos de nitrogênios (Nox) e metano (CH₄) para a atmosfera após a revolução industrial. Sendo a quantidade de CO₂ uma reconhecida medida de sustentabilidade ambiental, existe uma preocupação frequente em reduzir as emissões de CO₂ (Liu, 2014).

Segundo Resck et al. (2008), em 2025, a população mundial atingirá 8,4 bilhões de pessoas e, com isso, estima-se que haverá uma alta demanda por alimentos, fibra, energia, o que deverá se constituir no principal problema ambiental deste século. Além disso, com o aumento do consumo, pode ocorrer declínio dos recursos petrolíferos nas próximas décadas. Isso levou alguns pesquisadores a buscarem novas fontes de energia usando caules de plantas, algas, hidrogênio, luz do sol, entre outras fontes de energia renováveis (Rocha et al., 2009).

O uso da biomassa como combustível e para produção de energia em caldeiras e fornos é uma realidade. O termo biomassa, introduzido por volta de 1975, inclui toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal que pode ser utilizada para a produção de energia. Ficam excluídos os combustíveis fósseis e deles derivados, embora tenham sido considerados de origem biológica em épocas remotas. Porém, ao contrário do que ocorre com os combustíveis fósseis, na combustão da biomassa, a quantidade de CO₂ emitida equivale à mesma quantidade retirada do ar durante o crescimento da planta (Seye, 2003). Assim, em longo prazo, essa será uma das alternativas energéticas mais seguras, visto que a biomassa apenas recicla o CO₂ que foi retirado da atmosfera por meio da fotossíntese (Schemer et al., 2008).

Segundo Rocha et al. (2009), plantas de crescimento rápido, como as poáceas, não requerem nova preparação da área por aproximadamente 10 a 15 anos após o primeiro plantio. As raízes de longa vida podem ser desenvolvidas para estabelecer interações simbióticas com bactérias para fixar nitrogênio e nutrientes minerais, o que possibilita à planta uma estimativa de vida mais longa e com maior produção de biomassa. De acordo com os mesmos autores, essas características fazem dessas plantas particularmente atrativas para a produção de biomassa.

O capim-elefante é uma espécie com metabolismo fotossintético tipo C₄, ou seja, altamente eficiente na fixação de CO₂ atmosférico e conversão em biomassa vegetal (Taiz e Zeiger, 1998), podendo produzir até 14,5 t de matéria seca por ha em 56 dias de rebrotação (Lima et al., 2008). Além disso, por apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, pode contribuir para aumentar o sequestro de carbono por meio do incremento de matéria orgânica no solo (Urquiaga et al., 2006).

O uso da biomassa de capim-elefante pode ser feito por meio de quatro formas: pela combustão direta, gaseificação, carvoejamento e hidrólise do bagaço (álcool). A queima direta envolve as etapas de colheita, secagem, transporte e combustão. O capim-elefante “solto” (queima direta) possui baixa densidade energética quando comparada à da lenha (cavaco de madeira), sendo de baixa densidade a granel (Seye, 2003). Estudos visando à melhoria dessa característica são necessários para que genótipos de capim-elefante possam ser utilizados na combustão direta de maneira mais eficiente.

Com a demanda da produção para fins energéticos, novo rumo aos estudos com capim-elefante deve ser adotado com a finalidade de se obterem cultivares com características desejáveis (Samson et al., 2005). Plantas de capim-elefante com maior produção de lâmina foliar tendem a apresentar maior altura e produção de matéria seca (Mello et al., 2006). O capim-elefante concentra a produção de biomassa na estação chuvosa (Santana et al., 1994), sendo que, em Mello et al. (2002), verificou-se que clones de capim-elefante com maior produção de matéria seca nas duas estações do ano, em geral, apresentam maiores alturas de meristemas apicais. Porém, segundo os mesmos autores, os clones mais produtivos na estação seca apresentam maiores diâmetros do colmo, relação colmo/folha, número de perfilhos basais e total e comprimento de folhas.

O Brasil apresenta condições edafoclimáticas que possibilitam aumentar significativamente a produção de biomassa energética (Rossi, 2010). Além disso, os programas de produção de biomassa têm gerado número superior a 1 milhão de empregos (Quesada, 2005), trazendo também benefícios sociais.

2.3. Melhoramento do capim-elefante

O advento da agricultura permitiu ao homem, após milhares de anos de vida nômade, fixar-se em povoados e cidades. O melhoramento de plantas iniciou-se com o advento da agricultura, quando o homem preservou as melhores sementes para a multiplicação ao invés de consumi-las. Com a redescoberta das leis de Mendel, houve a criação de novos tipos de plantas, pela modificação dirigida dos caracteres hereditários (Borém e Milach, 1999). O avanço na área de marcadores moleculares, modelos estatísticos e metodologias de seleção têm permitido o aumento contínuo da produtividade das culturas por meio do melhoramento genético (Fuente et al., 2013). Com o melhoramento, tem-se conseguido o aumento da produtividade em diversas culturas agrícolas, tais como: soja (Dallastra et al., 2014), trigo (Zhao et al., 2013), arroz (Fujita et al., 2014), dentre outras.

No Brasil, existem poucos profissionais envolvidos com o melhoramento genético do capim-elefante para fins energéticos e, por esta razão, o número de

estudos acerca do tema ainda é pequeno. A maioria dos estudos é voltada para a sua utilização na alimentação animal. Esses estudos são necessários, visto que o capim-elefante possui atributos favoráveis às condições climáticas do Brasil (temperatura, precipitação, altitude) e às extensas áreas existentes podem propiciar o cultivo da espécie. Pode-se, com o melhoramento, definir os genótipos mais adaptados à determinada região.

A linha de pesquisa que visa à seleção de genótipos de capim-elefante com alta capacidade de captar o nitrogênio atmosférico, graças à fixação biológica de nitrogênio (FBN) para a produção de biomassa energética, é hoje liderada pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Agrobiologia, localizada em Seropédica-RJ (Quéno et al., 2011). Flores et al. (2013), em estudo conduzido neste centro de pesquisa, ao avaliarem a qualidade da biomassa em genótipos de capim-elefante em diferentes doses de nitrogênio e idade de corte, verificaram que a produção de capim-elefante para fins agroenergéticos é viável devido à relação carbono/nitrogênio acima de 40% e teor de fibra maior que 50%. Morais et al. (2009), pertencentes ao mesmo grupo de pesquisa, constataram que os genótipos Cameroon, CNPGL F06-3 e Bag 02 apresentaram características promissoras para o uso como fonte de energia, como altos teores de fibras e baixos teores de nitrogênio e proteínas (abaixo de 4%).

Outra linha de pesquisa de melhoramento do capim-elefante utiliza híbridos obtidos pelo cruzamento com outra espécie do gênero *Pennisetum*, sendo um cruzamento promissor conseguido entre o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) e o milheto (*Pennisetum glaucum*) (Quéno et al., 2011). Do cruzamento interespecífico do capim-elefante com o milheto é produzido híbrido triploide, estéril e com algumas características intermediárias do milheto e capim-elefante (Pereira et al., 2001). Segundo Barbosa et al. (2007), a duplicação cromossômica de híbridos de capim-elefante e milheto conduz a produção de híbridos (hexaploides) viáveis, constatada por testes de germinação *in vitro*. O objetivo desses cruzamentos é a obtenção de genótipos superiores para produção de forragens. Segundo Souza Sobrinho et al. (2005), esses híbridos apresentam baixa produção de massa seca, quando comparados a genótipos de capim-elefante e milheto, mas possuem todas as características de interesse forrageiro, como a porcentagem de proteína bruta e digestibilidade. Pereira et al. (2006), ao analisarem a capacidade de geral de combinação em dialelo obtido pelo

cruzamento entre genótipos de capim-elefante e milheto, observaram efeito gênico aditivo no controle das características bromatológicas.

A hibridação intraespecífica no capim-elefante constitui a melhor estratégia para obtenção de cultivares superiores (Hanna, 1999). São selecionadas as inflorescências antes da abertura da flor as quais são protegidas com saco de papel. Quando os estigmas estiverem receptivos, os grãos-de-pólen são coletados e é feita a polinização. O capim-elefante possui flores femininas e masculinas na mesma inflorescência, mas a possibilidade de autofecundação é muito pequena, porque a espécie apresenta protoginia que varia de 3 a 4 dias (Pereira et al., 1997). Deve-se levar em consideração, critérios como complementação alélica e divergência genética, para a escolha dos genitores que participarão dos cruzamentos. Isto permite a obtenção de progênie segregante com elevado grau de heterose. Por meio de análises simples, é possível se obter a capacidade combinatória entre genótipos (Pereira et al., 2001).

Recentemente, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem realizando estudos para a melhoria do capim-elefante, tanto para a produção animal (Silva, 2011; Schneider, 2013) quanto para a produção de energia (Rossi, 2010; Barbé, 2012; Oliveira, 2013; Sousa, 2013). Dentre estes trabalhos, encontra-se a hibridação intraespecífica. Os genótipos utilizados nessas pesquisas foram oriundos do banco de germoplasma da Embrapa Gado de Leite – BAGCE, localizada em Juiz de Fora - MG. Além do banco da Embrapa Gado de Leite, existem no Brasil os bancos de germoplasma de capim-elefante da Universidade Federal de Pelotas, na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI) e no Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA).

Apesar de sua importância econômica, o número de cultivares existentes de capim-elefante é pequeno. Em sua maioria, estas cultivares são clones com problemas, tais como, a concentração da produção no verão, susceptibilidade à cigarrinha e baixa produção, resultante da utilização de cultivares pouco adaptadas a um determinado ambiente (Faleiro et al., 2005). Algumas cultivares de capim-elefante, como Napier, Cameroon, Mercker e Roxo, foram obtidas no centro de diversidade da espécie, no continente africano (Freitas, 2008). Porém, oito materiais oriundos de programas de melhoramento encontram-se registrados no Registro Nacional de Cultivares do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Duas delas foram desenvolvidas pela EMBRAPA (BRS Canará e

BRS Kurumi) e seis, pela EPAGRI (Empasc 305, Empasc 306, Empasc 307, Empasc 308, Empasc 309 e Empasc 310) (MAPA, 2014).

2.4. Análises dialélicas e aplicações no capim-elefante

A capacidade combinatória subdivide-se em capacidade geral e capacidade específica de combinação (Sprague e Tatum, 1942). A capacidade geral de combinação (CGC) está associada à ação aditiva dos genes. Corresponde ao comportamento médio do genitor em cruzamentos. De acordo com Sprague e Tatum (1942), o termo *capacidade específica de combinação* (CEC) é utilizado para designar os casos em que certas combinações híbridas são superiores ou inferiores em relação ao esperado quanto ao desempenho médio de seus dois genitores. Tanto a capacidade geral quanto a específica de combinação ou os componentes da heterose podem ser estimados por meio do procedimento de cruzamentos dialélicos (Griffing, 1956). A análise dialélica de Griffing (1956) é aplicada para genitores com qualquer grau de endogamia (Cruz e Vencovsky 1989). Segundo Viana (2000), é um método de fácil interpretação e pode ser utilizado para qualquer espécie.

Quanto mais altas as estimativas da capacidade geral de combinação, positivas ou negativas, o genitor será considerado superior ou inferior aos demais genitores que compõem o dialelo. Quanto maior a estimativa, maior é a capacidade de o genitor transmitir alelos favoráveis para a sua progênie. Quando mais próxima de zero essa estimativa, o comportamento dos genitores não se difere da média geral dos cruzamentos (Cruz et al., 2012). Quanto maior a estimativa da capacidade geral de combinação de determinado genitor, maiores são as frequências dos alelos que transmitem a expressão do caráter (Viana, 2000).

A combinação híbrida mais favorável deve ser aquela que apresentar maior estimativa da capacidade específica de combinação e que seja resultante do cruzamento em que pelo menos um dos genitores apresente elevada capacidade geral de combinação (Cruz et al., 2012). Porém, segundo Cruz e Vencovsky (1989), nem sempre genitores de elevada capacidade geral de combinação

gerarão as melhores combinações híbridas. De acordo com Falconer (1987), desde que a capacidade de combinação seja resultado da divergência genética entre os genitores e da ocorrência de dominância, a capacidade específica de combinação é utilizada como um indicador da variabilidade presente entre cruzamentos.

Em função do número de polinizações e das dificuldades de operações no campo, a estimativa da capacidade combinatória de grande número de acessos, por meio de cruzamentos dialélicos, torna-se impraticável. Ao reduzir o número de acessos e combinações híbridas, reduz-se a probabilidade de serem encontradas as melhores combinações. Isso porque, a estimativa da capacidade geral de combinação fica sujeita à grande variação residual e ao número reduzido de graus de liberdade, dificultando os testes estatísticos (Russel e Ebehart, 1975).

Por meio da análise de uma amostra de todos os possíveis cruzamentos entre os genitores, o dialelo parcial permite o estudo da capacidade geral e específica de combinação de um conjunto elevado de genitores, ao contrário dos dialelo completo, em que todas as combinações entre genitores são incluídas, genitores e híbridos recíprocos (Cruz et al., 2012).

O dialelo parcial consiste no cruzamento entre dois grupos de genitores distintos, inicialmente proposto por Comstock e Robinson (1948), tendo sido posteriormente adaptado por Griffing (1956), Kempthorne e Curnow (1961) e Gardner e Eberhart (1966). A aplicação do dialelo parcial, denominado também delineamento II ou delineamento em esquema fatorial, permite analisar maior número de acessos, com menor número de polinizações e menor dispêndio de recursos.

No método de Griffing (1956), adaptado por Geraldi e Miranda Filho (1988), são avaliados os efeitos dos grupos de genitores e dos cruzamentos (Cruz et al., 2012). Este método apresenta um conjunto máximo de p^2 genótipos que são obtidos a partir de cruzamentos entre p variedades, linhagens ou cultivares. Os dados são dispostos em uma tabela dialélica ($p \times p$), sendo que X_{ij} 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 (Cruz et al., 2012).

Souza Sobrinho et al. (2005), realizando cruzamentos em esquema de cruzamentos dialélicos parciais entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum*

Schum.) e milheto (*Pennisetum glaucum* (E.) Leek), a fim de se obter a seleção de híbridos interespecíficos para a produção de forragem, observaram superioridade de alguns híbridos em relação à testemunha e, com isso, verificaram a possibilidade de obtenção de cultivares melhoradas no cruzamento entre as duas espécies para a produção de forragem. Em estudo semelhante, Leão et al. (2012) observaram que houve introgressão de características desejáveis para a produção de forragem do milheto, mostrando potencial de inclusão em programas de melhoramento genético.

Já em relação à produção de biomassa para fins energéticos, Sousa (2013), avaliando híbridos de capim-elefante obtidos em esquema de cruzamento de dialélio parcial, quanto às características morfoagronômicas e de qualidade de biomassa, observou que a adoção da hibridação como estratégia de melhoramento pode proporcionar ganhos para a maioria das características desejáveis pelo setor energético. Segundo o mesmo autor, a utilização dos genótipos Vruckwona, Porto Rico 534- B e Taiwan A-146 são os mais promissores quando o objetivo do programa for o aumento da produção de matéria seca em capim-elefante.

O modelo de Gardner e Ebehart (1966), adaptado por Miranda Filho e Geraldi (1984), fornece informações sobre o potencial *per se* dos genitores e da heterose manifestada nas combinações híbridas pela decomposição da soma de quadrados dos efeitos de tratamento. A partir da parametrização crescente, a heterose é decomposta em heterose média, heterose do grupo 1 e a do grupo 2, bem como heterose específica (Cruz et al., 2012).

Segundo Vencovsky (1970), o modelo de Gardner e Ebehart (1966) propõe que a heterose média, a função linear da dominância e das variâncias das frequências gênicas entre os genitores podem ser aumentadas se houver aumento da variância das frequências gênicas pelo menos em parte dos locos dominantes. Se houver dispersão das frequências gênicas em relação à frequência gênica média, o genitor apresentará valores positivos para a heterose. Se o genitor possuir menor diversidade em relação aos demais genitores, esse apresentará valores negativos para a heterose. Essa metodologia é aplicada em populações em equilíbrio de Hardy-Weinberg (Cruz e Vencovsky 1989).

Em estudo conduzido por Assunção et al. (2010), no qual foi avaliada a heterose em cruzamentos dialélicos em milho doce, utilizando a metodologia de

Gardner e Eberhart (1966), constatou-se heterose positiva para a maioria dos caracteres avaliados (florescimento, altura de planta, índice de espigas, °Brix, peso de espigas total, peso de espigas-padrão, rendimento industrial e teor de açúcar total). Silva et al. (2011), por meio de parametrizações heteróticas de cruzamentos dialélicos entre dez linhagens de milho pipoca, observaram que apenas em uma das características avaliadas (capacidade de expansão) não foram observados efeitos heteróticos favoráveis para a produção de híbridos superiores, pela confirmação de efeito aditivo para esta característica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Condição de cultivo e materiais genéticos

O experimento foi realizado na estação experimental do Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, da PESAGRO-Rio, em Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense, situada a 21° 19' 23" de latitude Sul e 41° 19' 40" de longitude Oeste, com altitude de 20 m, e o clima classificado como do tipo A_w de Koppen. O solo é classificado como argissolo distrófico (EMBRAPA, 2006). A precipitação pluvial registrada, durante a execução do experimento no campo (a partir do corte de uniformização), encontra-se na Figura 1. Antes da instalação do experimento, foram realizadas aragem, gradagem e análise de solo, cujos resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Análise do solo realizada antes do plantio dos genótipos de capim-elefante na área experimental (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).

	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	CTC ^{1/}	SB	C	MO
pH	mmol _{c.} dm ⁻³							g. dm ⁻³			
H ₂ O	mg. dm ³										
6,0	11	3,2	46,8	22,5	0,0	21,2	1,6	95,3	74,1	12,3	21,21

^{1/}CTC – capacidade de troca catiônica a pH 7,0; SB – soma de bases; MO – matéria orgânica.

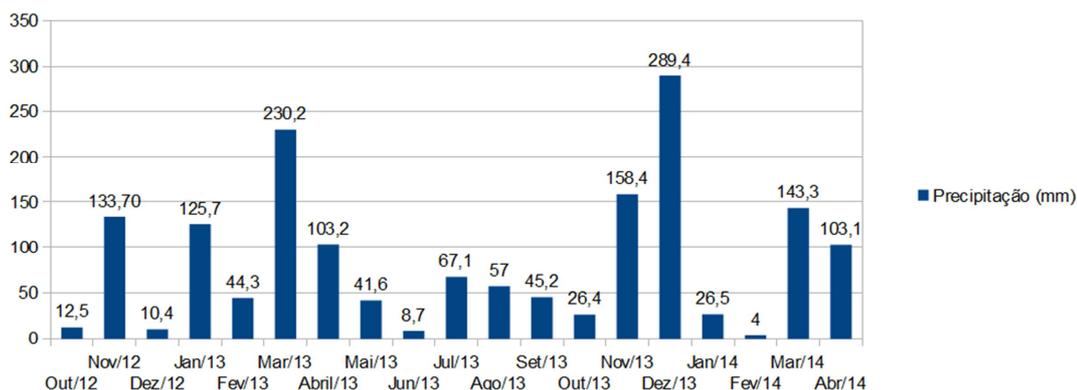


Figura 1: Precipitação pluvial (mm) durante o período de crescimento do capim-elefante no campo (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012/2013/2014). Fonte: Estação Evapotranspirométrica do Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, Campos dos Goytacazes, RJ.

As atividades realizadas no 1º ano da pesquisa (2011) consistiram na realização dos cruzamentos dirigidos entre acessos de capim-elefante, para obtenção das combinações híbridas entre genótipos promissores. Cinquenta e um acessos de capim-elefante provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Gado de Leite, Coronel Pacheco, MG, foram a base para a escolha dos melhores genitores para compor o dialelo parcial.

Os genitores femininos foram selecionados com base no florescimento tardio, na alta produção de matéria seca, no diâmetro do colmo (Rossi, 2010) e na divergência genética em relação aos genitores masculinos, ou seja, genótipos pertencentes a diferentes grupos heteróticos, segundo Lima et al. (2011). Os genitores masculinos foram selecionados com base na divergência genética em relação aos genitores femininos (Lima et al., 2011) e, também, em suas características morfoagronômicas (produção de massa seca, diâmetro do colmo, número de perfilhos) (Rossi, 2010). Dentre estes acessos, foram designados dez genitores, sendo cinco genitores femininos (G1, G2, G3, G4 e G5) (grupo 1) e cinco genitores masculinos (G6, G7, G8, G9 e G10) (grupo 2), formando um dialelo parcial 5x5. Além dos genitores, foi utilizada uma testemunha selecionada com base na alta produção de matéria seca e florescimento tardio (Rossi, 2010) (Tabela 2).

Tabela 2: Identificação dos dez genitores e uma testemunha de capim-elefante da coleção de trabalho do programa de melhoramento de capim-elefante da UENF (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).

Código do BAGCE	Identificação	Nomenclatura no dialeto parcial	Procedência
BAGCE-18	Cubano Pinda	G1	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE-38	Cameroon - Piracicaba	G2	ESALQ - Piracicaba
BAGCE-49	P241-Piracicaba	G3	ESALQ - Piracicaba
BAGCE-51	IAC-Campinas	G4	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE-60	Guaçu/IZ.2	G5	Nova Odessa - SP
BAGCE-2	Mercker	G6	IPEACO -Água Limpa - MG
BAGCE-3	Três Rios	G7	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE-21	Mercker 86-México	G8	Colômbia
BAGCE-22	Taiwan A-144	G9	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE-57	Roxo	G10	Lavras – ESALQ - MG
BAGCE-54	Capim Cana D'África	T	IPEACS – Linhares - ES

3.2. Obtenção dos híbridos

Os cruzamentos manuais foram dirigidos de modo que os grãos de pólen dos genótipos de capim-elefante (genitor masculino) fossem coletados em sacos de papel, sendo então levados aos genótipos genitores femininos no momento em que suas inflorescências, devidamente protegidas com saco de papel (Figura 2), apresentassem os estigmas receptivos. Os cruzamentos foram efetuados no horário entre 7 e 8 horas e entre os meses de junho e agosto de 2011.



Figura 2: Inflorescência feminina protegida (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012)

A semeadura dos híbridos, apenas para fins de multiplicação, foi realizada em bandejas de isopor com 128 células, preenchidas com substrato florestal (Figura 3).



Figura 3: Semeadura dos híbridos em bandejas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).

O transplântio das mudas para o campo foi realizado entre outubro e novembro de 2011 para o “banco de híbridos”, com espaçamento de 0,20 m dentro da linha, a partir do momento em que as mudas atingiram 20 cm de altura, cerca de 40 dias após a emergência média das plântulas. Cada linha possuía 5 m de comprimento com 1 m de espaçamento entre linhas (Figura 4).



Figura 4: Banco de híbridos (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).

Todas as combinações híbridas foram obtidas, permitindo-se a elaboração de esquema de dialelo parcial, segundo Cruz et al. (2012) (Tabela 3).

Tabela 3: Esquema de cruzamentos do dialelo parcial com dez genitores (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).

Genitores masculinos	Genitores femininos				
	Cubano Pinda (G1)	Cameroon – Piracicaba (G2)	P241-Piracicaba (G3)	IAC-Campinas (G4)	Guaçu/IZ.2 (G5)
Mercker (G6)	H1	H6	H11	H16	H21
Três Rios (G7)	H2	H7	H12	H17	H22
Mercker 86-México (G8)	H3	H8	H13	H18	H23
Taiwan A-144 (G9)	H4	H9	H14	H19	H24
Roxo (G10)	H5	H10	H15	H20	H25

3.3. Implantação e condução do experimento para avaliação dos genitores, híbridos e testemunha

Após a multiplicação dos híbridos e preparo convencional do solo, foi realizado o plantio dos colmos com três gemas obtidas de diferentes plantas, que correspondem à amostra de irmãos completos (Figura 5). Essas estacas foram dispostas em pé com ponta, distribuídas em sulcos de 10 cm de profundidade. O plantio foi realizado em junho de 2012. Após a fase de estabelecimento, em outubro de 2012 (90 dias após plantio), todos os genótipos foram cortados rente ao solo (corte de uniformização). Foram realizados três cortes de avaliações no intervalo de 6 em 6 meses, sendo dois em abril (abril de 2013 e abril de 2014), estes considerados das águas, porque a planta cresceu durante o período chuvoso (de outubro a abril), e um corte na seca (outubro de 2013). Neste corte, as plantas cresceram de abril a outubro de 2013 (período seco).

De acordo com a análise química do solo (Tabela 1) e com o manual de adubação do estado do Rio de Janeiro – RJ (Almeida et al., 1988), foi realizada a adubação no plantio com 100 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (Superfosfato Simples). Após o corte de uniformização, foi realizada nova adubação de cobertura, utilizando-se 25 kg.ha^{-1} de N (Sulfato de Amônio) e 25 kg.ha^{-1} de K_2O (Cloreto de Potássio).



Figura 5: Estacas utilizadas para o plantio da área experimental (Campos dos Goytacazes, RJ, 2012).

3.4. Avaliação dos híbridos, genitores e testemunha

As características morfoagronômicas avaliadas são descritas a seguir:

- a) altura das plantas (ALT) – foram tomadas as medidas de três plantas, ao acaso, de cada parcela, obtidas pela medição com régua graduada e expressa em metros;
- b) diâmetro do colmo (DC) – utilizando-se um paquímetro digital, foram medidos os diâmetros do colmo de três plantas, ao acaso, de cada parcela cerca de 20 cm do solo e os resultados expressos em centímetros;
- c) largura da lâmina foliar (LL) – mensurada na parte central da primeira folha totalmente expandida de três plantas, ao acaso, de cada parcela e expressa em centímetros;

d) número de perfilhos por metro linear (NP) - realizada por meio da contagem do número de perfilhos em 1,5 m na linha da parcela, sendo o resultado convertido para número de perfilhos por metro linear;

Foram pesados ainda, na área experimental, os perfilhos provenientes de 1,5 m de cada parcela. Após pesagem, foram coletadas amostras de três perfilhos, sendo estes passados em picadeira e embalados em sacos de papel. Os materiais (folhas e colmos) de cada parcela pesados e devidamente identificados foram secados em estufa de ventilação forçada, a 65°C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da amostra seca ao ar (ASA), de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). O material seco (folha e colmo) foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em sacos plásticos para a determinação da amostra seca em estufa (ASE). Para a determinação da ASE, 2 g de cada material moído foram mantidos em estufa a 105°C por 12 horas e, posteriormente, novamente pesados. A partir disso, foram obtidas as seguintes variáveis:

e) porcentagem de massa seca (%MS) – obtida pela multiplicação dos valores da amostra seca ao ar e da amostra seca em estufa;

f) produção de matéria seca (PMS) – estimada a partir da porcentagem de matéria seca e do peso de perfilhos em 1,5 m de cada parcela. Os resultados obtidos foram transformados para que fossem expressos em $t.ha^{-1}$.

3.5. Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com 36 tratamentos e três repetições. A unidade experimental foi composta por uma linha de 3 m, espaçada com 1,5 m entre linhas, sendo considerado útil apenas 1,5 m dentro das linhas, desprezando-se as extremidades.

3.6. Análise estatística e genética

3.6.1. Análise de variância

Em cada corte de avaliação, foi realizada uma análise de variância com base na média das parcelas para cada uma das características avaliadas descritas anteriormente, considerando-se como fixos todos os efeitos, exceto bloco e erro experimental (modelo fixo), utilizando o seguinte modelo estatístico:

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

Em que:

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

m = constante geral;

b_j = efeito do j-ésimo bloco;

g_i = efeito do i-ésimo genótipo; e

e_{ij} = erro experimental.

Tabela 4: Esquema do resumo da análise de variância individual, delineamento em blocos ao acaso.

Fonte de variação		Grau de liberdade	Quadrado médio (QM)*	F
Bloco		b-1	QM_b	
Genótipo		g-1	QM_g	QM_g/QM_e
Testemunha	vs	1	QM_{tvsgh}	$QM_{tvsgh}/$
genitores e híbridos				QM_e
Genitores	vs	1	QM_{pvsh}	QM_H/QM_e
híbridos				
Genitores		1	QM_{pfvspm}	QM_{pfvspm}/QM_e
femininos vs genitores masculinos				
Erro ou resíduo (e)		(b-1)(g-1)	QM_e	

*b - blocos; g - genótipos; p - genitores; pf – genitores femininos; pm – genitores masculinos; e h - número de híbridos.

As médias dos tratamentos em cada época de avaliação (águas e seca) e da produção de matéria seca total (PMST) dos três cortes de avaliação foram agrupadas pelo critério de média Scott-Knott a 5% de probabilidade (Zimmermann, 2004).

Após análise de variância individual para cada corte de avaliação (6, 12 e 18 meses após os corte de uniformização) foi verificada a homogeneidade das

variâncias residuais. Em seguida foi realizada a análise de variância conjunta do experimento em faixas (*strip-plot*), onde o tratamento principal foram os 36 genótipos (25 híbridos, dez genitores e uma testemunha) e os tratamentos nas faixas (subparcelas) foram os cortes de avaliações (Steel e Torrie, 1980). O modelo estatístico é o fixo e, nesse caso, fornecido por:

$$Y_{ijk} = m + b_j + g_i + e_{ij} + c_k + e_{jk} + g_{C_{ik}} + e_{ijk}$$

Em que:

m = 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;

$g_{C_{ik}}$ = efeito da interação genótipo i e o corte k ; e

e_{ijk} = erro experimental c.

Tabela 5: Esquema do resumo da análise de variância conjunta no experimento em faixas, delineamento em blocos ao acaso.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio (QM)*	F
Bloco	b-1	QM _b	QM _b /QM _{ea}
Genótipo (G)	g-1	QM _g	QM _g /QM _{ea}
Erro a	(b-1)(g-1)	QM _{ea}	
Corte (C)	c-1	QM _C	QM _C /QM _{eb}
Erro b	(b-1)(c-1)	QM _{eb}	
Genótipo x corte	(g-1)(c-1)	QM _{CG}	QM _{CG} /QM _{ec}
Erro c	(g-1)(c-1)(b-1)	QM _{ec}	

*b - blocos; g - genótipos; e c - cortes de avaliação.

3.6.2. Análises dialélicas

No presente estudo, foram utilizadas duas metodologias de análise dialélica: uma proposta por Griffing (1956) adaptada a dialelos parciais, que estima os efeitos de Capacidade Geral e Específica de Combinação (CGC e CEC); e outra proposta, por Gardner e Eberhart (1966) adaptada a dialelos parciais, que avalia os efeitos de heterose (Cruz et al. 2012).

Foram avaliados p genitores do grupo 1 (genitores femininos), q do grupo 2 (genitores masculinos) e suas pq combinações híbridas, sendo p=5, q=5 e pq=25. O esquema representativo do dialelo parcial é apresentado na tabela 6.

Tabela 6: Dialelo parcial envolvendo combinações híbridas e genitores de dois grupos (G1/G2).

G1	G2					Genitor
	1'	2'	3'	4'	5'	
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₀
2	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₀
3	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅	Y ₃₀
4	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y ₄₅	Y ₄₀
5	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄	Y ₅₅	Y ₅₀
Genitor	Y ₀₁	Y ₀₂	Y ₀₃	Y ₀₄	Y ₀₅	

3.6.2.1. Método de Griffing adaptado a dialelos parciais

O modelo estatístico adotado foi o de Geraldi e Miranda Filho (1988), em uma adaptação de Griffing (1956).

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} = 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, ... p);

Y_{0j} = média do j-ésimo genitor do grupo 2 (j = 0,1, ... q);

μ = média geral do dialelo;

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

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

$\bar{\epsilon}_{ij}$ = erro experimental médio.

Os parâmetros da capacidade geral e específica de combinação foram estimados por meio das equações normais no sistema $X'X\hat{\beta} = X'Y$, com as seguintes restrições:

$$p(q + 2)\hat{d}_1 + q(p+2)\hat{d}_2 = 0$$

$$\sum_i \hat{g}_i = 0$$

$$\sum_j \hat{g}'_j = 0$$

$$\sum_{j=1}^q \hat{s}_{ij} + \hat{s}_{i0} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$\sum_{i=1}^p \hat{s}_{ij} + 2\hat{s}_{0j} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, q)$$

Os estimadores dos efeitos foram obtidos segundo Cruz et al. (2012), em que:

$$\hat{\mu} = \frac{Y_T}{pq+p+q}$$

$$\hat{d}_1 = \frac{p+2}{p(p+q+4)} [Y_{(1)} - Y_{(2)} - (p - q)\hat{\mu}]$$

$$\hat{d}_2 = \frac{q+2}{q(p+q+4)} [Y_{(2)} - Y_{(1)} + (p - q)\hat{\mu}]$$

$$\hat{g}_i = \frac{1}{q+4} \left[Y_{i.} + 2Y_{i0} - \frac{1}{p} [Y_H + 2Y_{(1)}] \right]$$

$$\hat{g}'_j = \frac{1}{p+4} \left[Y_{.j} + 2Y_{0j} - \frac{1}{q} [Y_H + 2Y_{(2)}] \right]$$

$$\hat{s}_{ij} = Y_{ij} - \left[\hat{\mu} + \hat{g}_i + \hat{g}'_j + \frac{1}{2} (\hat{d}_1 + \hat{d}_2) \right]$$

Em que:

$\hat{\mu}$ = estimador da média geral;

\hat{g}_i = estimador do efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo genitor do grupo 1;

\hat{g}'_j = estimador do efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo genitor do grupo 2;

\hat{s}_{ij} = estimador do efeito da capacidade específica de combinação;

Y_T = total geral que inclui as pq combinações híbridas e os p + q genitores;

Y_H = total das pq combinações híbridas;

$Y_{(1)}$ = total das p médias dos genitores do grupo 1;

$Y_{(2)}$ = total das q médias

Y_i = total das q combinações híbridas do i-ésimo genitor do grupo 1; e

Y_j = total das p combinações híbridas do j-ésimo genitor do grupo 2.

Foram obtidas as somas de quadrados (Cruz et al. 2012).

$$SQ(\hat{\mu}) = \text{correção} = \hat{\mu}Y_T = \frac{Y_T^2}{pq+p+q}$$

$$SQ(\hat{d}_k) = SQ(G_1 \text{ vs } G_2) = \frac{pq}{(p+q+4)(pq+p+q)} \left[\frac{p+2}{p} Y_{(1)} - \frac{q+2}{q} Y_{(2)} + \frac{q-p}{pq} Y_H \right]^2$$

$$SQ(\hat{g}_i) = SQ(CGC_1) = \frac{4}{q+4} \sum_i \left[Y_{i0} - \frac{1}{p} Y_{(1)} + \frac{1}{2p} (pY_i - Y_H) \right]^2$$

$$SQ(\hat{g}'_j) = SQ(CGC_2) = \frac{4}{p+4} \sum_j \left[Y_{0j} - \frac{1}{q} Y_{(2)} + \frac{1}{2q} (qY_j - Y_H) \right]^2$$

$$SQ(\hat{s}_{ij}) = SQ(CEC) = SQ\text{Tratamento} - [SQ(G_1 \text{ vs } G_2) + SQ(CGC_1) + SQ(CGC_2)]$$

Tabela 7: Esquema do resumo da análise de variância para CGC e CEC do dialelo parcial com a decomposição da soma de quadrados de tratamentos.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Genótipos	pq + p + q - 1	SQ_G	QM_G	
CGC ₍₁₎	p - 1	$SQCGC_1$	$QMCGC_1$	$QMCGC_1/QM_R$
CGC ₍₂₎	q - 1	$SQCGC_2$	$QMCGC_2$	$QMCGC_2/QM_R$
CEC	pq	$SQCEC$	$QMCEC$	$QMCEC/QM_R$
Grupo 1 vs Grupo 2	1	$SQG_1 \text{ vs } G_2$	$QMG_1 \text{ vs } G_2$	$QMG_1 \text{ vs } G_2/QM_R$
Resíduo	m	SQ_R	QM_R	

*p – número de genitores do grupo 1; q – número de genitores do grupo 2; m – número de graus de liberdade de análise de variância individual.

A heterose relativa foi estimada pela expressão (Falconer, 1987):

$$H_{MP} = \frac{F1-MP}{MP} \times 100$$

Sendo que:

$$MP = \frac{P1+P2}{2}$$

Foram realizadas análises de variância para a capacidade combinatória da média dos dois cortes das águas, do corte de avaliação da época da seca, com a variável produção de matéria seca total (PMST) dos três cortes de avaliação.

3.5.2.2. Método de Gardner e Eberhart adaptado a dialelos parciais

O modelo estatístico adotado foi o de Miranda Filho e Geraldi (1984), em uma adaptação de Gardner e Eberhart (1966). Na metodologia proposta por Miranda Filho e Geraldi (1984), tem-se a soma de quadrados associadas aos efeitos dos grupos (G_1 e G_2), da heterose e do contraste G_1 e G_2 . A heterose tem a sua soma de quadrados decomposta em heterose média, heterose atribuída aos vários genótipos dentro de cada grupo e heterose específica (Cruz et al., 2012).

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

Sendo o tratamento à combinação híbrida, tem-se $\alpha = 0$ e $\theta = 1$, o modelo reduz a:

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

Em relação ao genitor do grupo 1 (genitores femininos), tem-se $\alpha = 1$ e $\theta = 0$, o modelo se reduz a:

$$Y_{i0} = u + d + v_i + \bar{\epsilon}_{i0}$$

Em relação ao genitor do grupo 2 (genitores masculinos), tem-se $\alpha = -1$ e $\theta = 0$, o modelo se reduz a:

$$Y_{0j} = u - d + v'_j + \bar{\epsilon}_{0j}$$

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 da 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;

$\bar{h} =$ 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

$\bar{\varepsilon}_{ij} =$ erro experimental médio.

Tabela 8: Esquema do resumo da análise de variância de um dialelo parcial envolvendo genitores de dois grupos (G_1 e G_2) e suas combinações híbridas.

Fontes de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio
Genótipos	$pq + p + q - 1$	SQ_G	QM_G
G_1 vs G_2	1	$SQ_{(G_1 \text{ vs } G_2)}$	$QM_{(G_1 \text{ vs } G_2)}$
Grupo 1 (G_1)	$p - 1$	SQ_{G_1}	QM_{G_1}
Grupo 2 (G_2)	$q - 1$	SQ_{G_2}	QM_{G_2}
Heterose (H)	pq	SQ_H	QM_H
H. média	1	$SQ_{\bar{h}}$	$QM_{\bar{h}}$
H. Grupo 1	$p - 1$	SQ_{h_1}	QM_{h_1}
H. Grupo 2	$q - 1$	SQ_{h_2}	QM_{h_2}
H. Específica	$(p - 1)(q - 1)$	$SQ_{s_{ij}}$	$QM_{s_{ij}}$
Resíduo	m	SQ_R	QM_R

* p – número de genitores do grupo 1; q – número de genitores do grupo 2; m – número de graus de liberdade de análise de variância individual.

Foram obtidas as somas dos quadrados utilizando as seguintes expressões (Cruz et al., 2012):

$$C = \text{correção} = \frac{(Y_T)^2}{N}$$

$$SQ(\text{Genótipo}) = \sum_i Y_{i0}^2 + \sum_j Y_{0j}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q Y_{ij}^2 - C$$

$$SQ(\text{Grupo 1}) = \frac{4}{q+4} \sum_i \left[Y_{i0} - \frac{1}{p} Y_{(1)} + \frac{1}{2p} (pY_{i.} - Y_H) \right]^2$$

$$SQ(\text{Grupo 2}) = \frac{4}{q+4} \sum_j \left[Y_{0j} - \frac{1}{q} Y_{(2)} + \frac{1}{2q} (qY_{.j} - Y_H) \right]^2$$

$$SQ(G_1 \text{ vs } G_2) = \frac{pq}{N(p+q+4)} \left[\frac{(p+2)}{p} Y_{(1)} - \frac{(q+2)}{q} Y_{(2)} + \frac{(q-p)}{pq} Y_H \right]^2$$

$$SQ \text{ Heterose} = SQ(\text{Genótipo}) - SQ[SQ(\text{Grupo1}) + SQ(\text{Grupo 2}) + SQ(G_1 \text{ vs } G_2)]$$

$$SQ(\bar{h}) = \frac{pq}{p+q+4} \left[\frac{1}{p} Y_{(1)} + \frac{1}{q} Y_{(2)} - \frac{2}{pq} Y_H \right]^2$$

$$SQ(\text{Heterose } G1) = \frac{4}{q+4} \sum_i \left[Y_{i0} - \frac{1}{p} Y_{(1)} + \frac{2}{pq} (pY_{i.} - Y_H) \right]^2$$

$$SQ(\text{Heterose } G2) = \frac{4}{q+4} \sum_j \left[Y_{0j} - \frac{1}{q} Y_{(2)} + \frac{2}{pq} (qY_{.j} - Y_H) \right]^2$$

$$SQ(\text{Heterose Específica}) = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{1}{q} \sum_i Y_{i.}^2 - \frac{1}{p} \sum_j Y_{.j}^2 + \frac{1}{pq} Y_H^2$$

A heterose média, varietal e específica foram estimadas pelas expressões (Cruz et al., 2012):

$$\bar{h} \text{ (heterose média)} = \frac{Y_H}{pq} - \frac{qY_{(1)} + pY_{(2)}}{2pq} = \bar{Y}_H - \hat{u}$$

$$\hat{h}_j \text{ (heterose varietal)} = \frac{Y_{.j}}{q} - \frac{Y_H}{pq} + \frac{1}{2} \left[\frac{Y_{(1)}}{p} - Y_{i0} \right]$$

$$\hat{s}_{ij} \text{ (heterose específica)} = Y_{ij} + \frac{Y_{ij}}{pq} - \frac{Y_{i.}}{q} - \frac{Y_{.j}}{p}$$

As análises de variância e o estudo da heterose foram realizados com a média dos dois cortes das águas, do corte de avaliação da época da seca e com a variável produção de matéria seca total (PMST) dos três cortes de avaliação.

Utilizou-se o aplicativo computacional em genética e estatística, programa Genes (Cruz, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de variância

Pode-se verificar que, no primeiro corte das águas, houve significância ($P < 0,01$) entre genótipos para a característica altura da planta (ALT), porém não houve diferenças significativas entre a testemunha e os demais genótipos avaliados (genitores e híbridos). O mesmo ocorreu entre genitores e híbridos. Apenas para o contraste entre genitores femininos e masculinos foi encontrada significância ($P < 0,01$) pelo teste F. A média geral nesse corte foi de 2,26 m (Tabela 9). Souza Sobrinho et al. (2005), avaliando híbridos entre genótipos de capim-elefante e milheto, em dialelo parcial, aos 72, 73, 66, 92, 97, 65, 67 e 81 dias de crescimento, encontraram média geral para altura de planta de 1,76 m com híbridos apresentando até 1,99 m, ou seja, valor próximo ao observado no presente trabalho com o corte de avaliação realizado aos 6 meses de crescimento.

Mesmo apresentando coeficiente de variação considerado baixo (8,86%), não houve diferenças significativas para a característica diâmetro do colmo (DC) no primeiro corte das águas. O valor médio observado de 1,43 cm (Tabela 9) para essa característica foi similar aos encontrados por Ferreira et al. (2013) nos genótipos Roxo de Botucatu (1,44 cm) e Cuba-116-29.3 (1,48 cm) na região semiárida de Pernambuco.

Em relação à característica largura da lâmina foliar (LL) no primeiro corte das águas, houve diferenças significativas entre os genótipos avaliados em nível de 1% de probabilidade. O único contraste em que não foram observadas diferenças significativas foi entre genitores e híbridos, os quais apresentaram média geral de 4,33 e 4,35 cm, respectivamente. Em relação à testemunha e aos demais genótipos, as diferenças ocorreram a 5% de probabilidade (Tabela 9).

Tabela 9: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no primeiro corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Bloco	0,1951	0,0279	1,4531
Genótipos	0,1013**	0,0199 ^{ns}	0,2671**
Testemunha vs genitores e híbridos	0,0553 ^{ns}	0,0603 ^{ns}	0,7896*
Genitores vs híbridos	0,0063 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	0,1449 ^{ns}
Genitores masculinos vs genitores femininos	0,6551**	0,0051 ^{ns}	1,3511**
Resíduo	0,0322	0,0160	0,1275
Média geral	2,26	1,43	4,36
Média testemunha	2,39	1,57	4,87
Média geral dos genitores	2,24	1,42	4,33
Média geral dos híbridos	2,26	1,45	4,35
CV (%)	7,95	8,86	8,19

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O número de perfilhos por metro linear (NP) no primeiro corte das águas apresentou significância entre os genótipos a 1% de probabilidade. Em relação ao contraste testemunha e aos demais genótipos (genitores e híbridos), observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) pelo teste F. Pode-se observar que a testemunha obteve média de 25 perfilhos por metro linear, enquanto as médias dos genitores e híbridos foram de 31 e 34 perfilhos, respectivamente (Tabela 10). Na análise da característica DC, pode-se observar que a testemunha obteve valor maior comparando com o das médias gerais de DC dos genitores e híbridos. Isso porque, geralmente, o maior DC está correlacionado à menor produção de perfilhos (Daher et al., 2004).

As diferenças significativas em nível de 1% de probabilidade, para a característica porcentagem de matéria seca (%MS) no primeiro corte de avaliação na época das águas, ocorreram apenas entre os genótipos de forma geral. Resultado semelhante foi observado para a característica produção de matéria seca (PMS), com exceção da significância a 1% de probabilidade entre genitores e híbridos (Tabela 10). Isso indica que houve diferenças entre genitores e híbridos, cujas média gerais foram de 16,90 e 20,61 t.ha⁻¹, respectivamente, ou seja, os híbridos foram mais produtivos do que os genitores em relação à média geral.

Tabela 10: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no primeiro corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Bloco	0,3478	23,2915	26,8927
Genótipos	138,5371**	15,6629**	36,2612**
Testemunha vs genitores e híbridos	185,6015*	12,7962 ^{ns}	21,7807 ^{ns}
Genitores vs híbridos	175,4406*	9,5320 ^{ns}	295,6653**
Genitores masculinos vs genitores femininos	235,2000*	8,8530 ^{ns}	20,0072 ^{ns}
Resíduo	36,5687	6,9633	17,9301
Média geral	32,75	24,86	19,62
Média testemunha	25,00	26,90	22,28
Média geral dos genitores	30,93	24,33	16,90
Média geral dos híbridos	33,79	24,99	20,61
CV (%)	32,75	10,61	21,58

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Resultados diferentes foram obtidos no corte da seca em relação ao primeiro corte das águas. Não houve diferenças significativas na ALT entre genitores masculinos e femininos, mas houve diferenças entre genitores e híbridos a 5% de probabilidade. O mesmo ocorreu no contraste entre a testemunha e os demais genótipos, ou seja, no corte da seca, foi possível obter diferenças significativas para esse contraste em nível de 5% de probabilidade.

Isso porque, na época da seca, a testemunha (Capim Cana D'África) apresentou altura superior, de 2,30 m, em relação à dos genitores e híbridos avaliados (Tabela 11).

No corte da seca, foram detectadas diferenças entre os genótipos a 1% de probabilidade para a característica DC. Ao ser analisado cada contraste efetuado isoladamente, pode-se observar diferenças significativas apenas entre genitores e híbridos, também a 1% de probabilidade. A média geral de 1,46 cm para a característica DC (Tabela 11) foi similar à encontrada no primeiro corte das águas (1,43 cm).

Houve diferença estatística entre os genitores masculinos e femininos para a característica LL, não sendo detectadas diferenças entre genitores e híbridos (Tabela 11). Silva et al. (2010), ao avaliarem caracteres morfológicos em clones de capim-elefante em três cortes de avaliação aos 60 dias de crescimento, observaram valor médio geral para a característica LL, de 3,16 cm. No presente estudo, no corte da seca realizado aos 6 meses de crescimento, o valor médio geral foi de 3,59 cm, ou seja, os acréscimos nessa característica, a partir de certo estágio de desenvolvimento da planta, não são significativos.

Tabela 11: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Bloco	0,1393	0,0630	0,0210
Genótipos	0,1022*	0,1764**	1,1121**
Testemunha vs genitores e híbridos	0,6082**	0,2222 ^{ns}	0,5071 ^{ns}
Genitores vs híbridos	0,2801*	0,5875**	0,8792 ^{ns}
Genitores masculinos vs genitores femininos	0,0067 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	6,9601**
Resíduo	0,0581	0,0787	0,2300
Média geral	1,86	1,46	3,59
Média testemunha	2,30	1,56	4,00
Média geral dos genitores	1,75	1,34	3,43
Média geral dos híbridos	1,88	1,50	3,64
CV (%)	12,99	19,19	13,34

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, cm; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A característica NP no corte da seca não apresentou significância pelo teste F entre os grupos de genitores femininos e masculinos, ao contrário do primeiro corte das águas. Os resultados também mostram que existem diferenças na produção de perfilhos entre genitores e híbridos. Isso pode ser observado pela média geral destes grupos de genótipos. A média geral da característica NP dos híbridos foi de 32 perfilhos, enquanto a dos genitores foi de 26 perfilhos por metro linear (Tabela 12). Esse resultado indica mais uma vez a superioridade dos híbridos em relação aos genitores, ou seja, a presença de heterose.

O capim-elefante vem sendo avaliado com a finalidade energética devido à alta capacidade de produção de biomassa (Morais et al., 2011). Visando à obtenção de híbridos com capacidade de produção de biomassa superior à de seus genitores, pode-se observar que, em relação à %MS, não houve diferenças significativas entre genitores e híbridos, tanto na época da seca quanto na época das águas. Esse resultado indica que a característica %MS pode ser de alta herdabilidade. No caso da característica PMS, houve efeito significativo ($P < 0,05$) entre genitores e híbridos pelo teste F, com médias gerais de 5,43 e 6,65 t.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 12), denotando a expressão do vigor híbrido para este grupo de genótipos avaliados. Este resultado está em concordância com Bernini e Paterniani (2012), que evidenciaram potencial heterótico de híbridos de populações F₂ de milho em cruzamentos dialélicos, utilizando a metodologia de Gardner e Eberhart (1966).

Em relação ao segundo corte das águas, as características ALT e DC apresentaram significância em nível de 1% de probabilidade pelo teste F, no entanto, não ocorreram diferenças entre os contrastes realizados (testemunha vs genitores e híbridos, genitores vs híbridos, genitores femininos vs genitores masculinos) (Tabela 13). Carneiro et al. (2006), ao avaliarem o consórcio de capim-elefante com leucena, observaram que a altura da planta é influenciada pela densidade de plantio, em que as maiores alturas de planta (2,01 m) ocorreram no espaçamento de 1,0 m entre linhas.

Tabela 12: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Bloco	1,1956	65,7644	1,1369
Genótipos	205,151**	50,1125*	12,3070*
Testemunha vs genitores e híbridos	353,9563*	128,3770*	12,5706 ^{ns}
Genitores vs híbridos	336,2606*	7,2513 ^{ns}	28,7277*
Genitores masculinos vs genitores femininos	1,5413 ^{ns}	183,9753*	20,5279 ^{ns}
Resíduo	76,5647	27,0388	6,7303
Média geral	30,21	20,88	6,36
Média testemunha	19,50	27,34	8,38
Média geral dos genitores	27,69	20,93	5,43
Média geral dos híbridos	31,65	20,87	6,65
CV (%)	28,96	24,90	40,80

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apenas no contraste entre genitores masculinos e femininos para a característica LL, não foram observadas diferenças significativas pelo teste F no segundo corte das águas. Ao comparar testemunha e os demais genótipos, é possível detectar diferenças significativas a 1% de probabilidade. A testemunha apresentou média para a característica largura de folha de 4,15 cm, enquanto genitores e híbridos apresentaram médias gerais inferiores, com valores de 3,51 e 3,48 cm, respectivamente (Tabela 13). Não foram observadas diferenças significativas ($P < 0,05$), para o contraste genitores vs híbridos, tanto na época das águas quanto na época da seca (Tabela 11). Isso indica que as diferenças encontradas no mesmo ambiente podem ser devido a causas genéticas. Segundo Price e Casler (2014), a seleção direta para produção de biomassa em Poaceae tem sido difícil devido a muitos fatores que influenciam a produção de biomassa. A identificação de características morfológicas associadas com a produção de biomassa pode aumentar a eficiência do melhoramento genético dessas espécies.

Tabela 13: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no segundo corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Bloco	0,0654	0,1456	0,4001
Genótipos	0,1264**	0,0602**	0,3678**
Testemunha vs genitores e híbridos	0,2058 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	1,2797**
Genitores vs híbridos	0,0681 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,0440 ^{ns}
Genitores masculinos vs genitores femininos	0,0370 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	1,7280*
Resíduo	0,0642	0,0294	0,0854
Média geral	2,16	1,52	3,51
Média testemunha	1,90	1,48	4,15
Média geral dos genitores	2,10	1,52	3,51
Média geral dos híbridos	2,20	1,52	3,48
CV (%)	11,74	11,31	8,34

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação às características NP, %MS e PMS, observou-se efeito significativo ($P < 0,01$) entre os genótipos, mas não ocorreram diferenças significativas para os contrastes utilizados no presente estudo (Tabela 14), diferentemente do que ocorreu no primeiro corte das águas e no corte da seca. Segundo Silva et al. (2010), avaliando genótipos na Zona da Mata de Pernambuco, foi possível obter ganhos genéticos em capim-elefante para maior produção de biomassa, selecionando indiretamente genótipos com maior produção de perfilhos. Segundo Cunha et al. (2011), a produção de perfilhos está correlacionada positivamente com a PMS, ou seja, quanto maior a produção de perfilhos maior também será a produção de biomassa em capim-elefante.

Tabela 14: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação de três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante no segundo corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Bloco	25,7203	9,5207	0,9420
Genótipos	215,3376**	14,8474**	44,3619**
Testemunha vs genitores e híbridos	138,8625 ^{ns}	3,8455 ^{ns}	74,7967 ^{ns}
Genitores vs híbridos	39,5178 ^{ns}	0,1584 ^{ns}	75,7807 ^{ns}
Genitores masculinos vs genitores femininos	122,0083 ^{ns}	1,6375 ^{ns}	33,4222 ^{ns}
Resíduo	76,5055	6,7875	23,0439
Média geral	35,04	23,83	14,67
Média testemunha	28,33	24,95	9,74
Média geral dos genitores	34,26	23,74	13,46
Média geral dos híbridos	35,62	23,83	15,35
CV (%)	24,96	10,93	32,73

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Ao verificar a análise de variância conjunta, observa-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade para os genótipos em todas as características avaliadas (Tabelas 15 e 16). Este resultado indica a presença de variabilidade genética devido ao cruzamento de genitores altamente heterozigóticos e que pode ser explorada pela seleção em programas de melhoramento de plantas (Cavalcante et al., 2013). Para o efeito de corte (ambiente) na subparcela, apenas a variável DC não apresentou significância pelo teste de F de Fisher. A variável %MS apresentou significância, mas em nível de 5% (Tabelas 15 e 16).

Considerando que os cortes de avaliação representam o fator ambiental, houve interação significativa entre genótipos e ambientes para todas as características avaliadas (Tabelas 15 e 16). Os genótipos responderam diferentemente às diferentes variações ambientais, com alterações no posicionamento do genótipo ou mudanças na magnitude das diferenças entre genótipos de ambiente para outro (Silva, 2008). A interação genótipo x ambiente é de grande importância para o melhoramento de plantas, mas dificulta a identificação de genótipos superiores para diferentes ambientes (Faria et al. 2009).

Tabela 15: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos três cortes e três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Bloco	0,2391	0,0780	1,1579
Genótipo (G)	0,1556**	0,0853**	1,2123**
Erro a	0,0615	0,0415	0,1649
Corte (C)	4,7195**	0,2274 ^{ns}	23,8311**
Erro b	0,0804	0,0793	0,3581
Interação (GxC)	0,0871**	0,0856**	0,2674**
Erro c	0,0465	0,0413	0,1390
Média	2,09	1,47	3,82
CVa (%)	11,86	13,86	10,63
CVb (%)	13,56	19,17	15,67
CVc (%)	10,31	13,84	9,76

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 16: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos três cortes e das três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Bloco	7,7746	8,1845	9,3196
Genótipo (G)	382,6802**	33,8710**	52,5976**
Erro a	91,6428	13,3468	20,4477
Corte (C)	630,8717**	460,2612*	4852,4654**
Erro b	9,7445	45,1961	9,8260
Interação (GxC)	88,1726**	23,375894**	20,1662*
Erro c	48,9980	13,7214	13,6283
Média	17	23,19	13,55
CVa (%)	29,30	15,75	33,37
CVb (%)	9,55	28,98	23,13
CVc (%)	21,43	15,97	27,24

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Além da análise de variância individual e conjunta dos cortes de avaliação, foi realizada também a análise de variância da média da PMS, na época das águas, dos três cortes, do total dos cortes 1º ano de avaliação, e da porcentagem

de contribuição da PMS da época da seca na produção do 1º ano, e da PMS, na época da seca (já apresentada anteriormente), que se encontram na Tabela 17.

Primeiramente, pode-se verificar que não houve diferenças significativas pelo teste F, para os níveis de probabilidade testados, apenas para a porcentagem de contribuição da PMS da época da seca na produção do 1º ano, ou seja, os genótipos não diferiram quando à PMS na época da seca em relação à produção total. A média geral da PMS, no 1º ano de avaliação, foi de 25,98 t.ha⁻¹ (Tabela 17) que está abaixo do potencial de produção massa seca do capim-elefante que é de 30 a 45 t.ha⁻¹. ano⁻¹ (Gomes et al., 2013).

A média de PMS, na época das águas, foi de 17,14 t.ha⁻¹, enquanto que, na época da seca, foi de 6,36 t.ha⁻¹ (Tabela 17). A menor produtividade observada no corte da época da seca pode ter sido devido à menor precipitação ocorrida durante o período de crescimento da planta. Durante o primeiro e segundo corte das águas, a precipitação total foi de 556 e 648 mm, respectivamente, enquanto, na época da seca, foram contabilizados 322,8 mm (Figura 1). Segundo Teixeira Vitor et al. (2009), a baixa intensidade luminosa associada a temperaturas inferiores a 15°C pode limitar a produção em genótipos de capim-elefante.

Tabela 17: Estimativas dos quadrados médios da produção de matéria seca média, em t.ha⁻¹, dos cortes das águas (Águas), no corte da seca (Seca), total dos três cortes (PMST), média do 1º ano e porcentagem na produção de matéria seca no corte da seca (%PMSEca) em relação à produção do 1º ano (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Produção de matéria seca				
	Águas	Seca	PMST	1º ano	%PMSEca
Bloco	4,4461	1,1369	27,91	39,0611	13,1727
Genótipos	27,4784**	12,3070*	157,82**	68,9381**	92,1348 ^{ns}
Resíduo	10,9632	6,7303	61,35	29,4354	64,2057
Média geral	17,14	6,36	40,65	25,98	24,09
CV (%) ^{1/}	19,31	40,80	19,27	20,88	33,26

^{1/}CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

4.2. Agrupamento de médias

Com relação aos cortes das águas, optou-se pela realização do agrupamento de médias, pelo teste de Scott-Knott, do primeiro e segundo cortes

das águas com média dos dois cortes (Tabela 18). Isso porque ao realizar a análise de variância conjunta entre os dois cortes de avaliação não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) para a interação na maioria das características. A interação genótipo x ambiente (corte) apenas apresentou significância ($P < 0,01$) na característica NP.

Em relação à característica ALT nos cortes de avaliação da época das águas, observou-se que houve a separação dos genótipos em dois grupos. Apenas os genitores masculinos G6 (Mercker) e G9 (Taiwan A-144) estiveram entre os 12 genótipos classificados com maiores ALT. Os valores das alturas desses dois genótipos foram 2,41 e 2,52 m. O híbrido com maior valor (2,60 m) de ALT encontrado entre os genótipos agrupados como de maiores ALT foi o H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) (Tabela 18). A obtenção de híbridos com maiores ALT é aspecto favorável quando se deseja selecionar materiais genéticos de capim-elefante para a produção de energia, visto que a ALT está correlacionada positivamente com a PMS (Zhang et al. 2010).

No corte de avaliação da época da seca, observou-se que o híbrido H18 esteve no grupo de menor ALT, com valor de 1,62 m. Resultado inverso foi observado para a testemunha (Capim Cana D' África), que se apresentou entre os genótipos de menores alturas no corte da seca, com valor de 2,14 m; e entre os de maiores ALT nos cortes das águas, com valor de 2,30 m. Isso ocorreu devido à interação genótipo x ambiente (corte) ter sido significativa ($P < 0,05$) (Tabela 19).

No caso das características NP e DC nos cortes de avaliação da época das águas e da seca, observa-se a separação dos genótipos em dois grupos. Os híbridos H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México), H21 (Guaçu/IZ.2 x Mercker) e a testemunha (Capim Cana D' África) foram reunidos no grupo de maiores DC e menores NP, tanto nos cortes das águas quanto na seca. Os valores de DC desses genótipos nos cortes das águas foram de 1,59; 1,50 e 1,52 cm e no corte da seca de 1,57; 1,61 e 1,73 cm, respectivamente. A característica NP desses genótipos nos cortes das águas foi de 26, 31 e 27 e no corte da seca de 29, 28 e 19 (Tabelas 18 e 19). Esses resultados estão de acordo com Daher et al. (2004) que observaram correlação negativa entre as características DC e NP em genótipos de capim-elefante.

Nos cortes de avaliação das águas, os genótipos foram separados em quatro grupos, levando-se em conta a característica LL, segundo o teste de Scott-

Knott ($P < 0,05$). No grupo com maiores LL, não foi encontrado nenhum dos híbridos, apenas os com genitores G1 (Cubano Pinda), G2 (Cameroon – Piracicaba) e G5 (Guaçu/ IZ.2) e a testemunha (Capim Cana D' África) com valores de 4,54; 4,47; 4,36; e 4,51, respectivamente (Tabela 18). Porém, no corte da seca, os híbridos H13 (P241-Piracicaba x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) foram os que apresentaram maiores LL, de 5,01 e 4,89 cm (Tabela 19). Quanto mais curto o intervalo entre os cortes maior será a proporção de folhas no material colhido. No caso da alimentação animal, isso é desejável devido ao maior teor de proteína. Em relação ao material destinado à produção de energia, a estratégia deve ser contrária, porque o baixo teor de proteína promove a produção de calor de forma mais eficiente (Morais et al. 2009).

Os genótipos de capim-elefante foram classificados, levando-se em conta à característica PMS, em dois grupos, nos cortes das águas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) (Tabela 18). Nos cortes das águas, apenas dois genitores apresentaram-se no grupo com maiores produções. Esses genitores foram o G6 (Mercker) com valor de 19,76 e o G9 (Taiwan A-144) com valor de 18,57. Com isso, constata-se que foi possível obter híbridos de desempenho superior ao de seus genitores. Contudo, Flores et al. (2012), em avaliação de genótipos de capim-elefante, com corte efetuado aos 6 meses de crescimento e em condições de Cerrado, produziram acima de 30 t.ha^{-1} , ou seja, rendimentos superiores ao do presente estudo. Segundo Santos (1995), o capim elefante tem potencial para produzir 80 t.ha^{-1} de matéria seca por ano.

Já em relação ao corte da seca, não houve separação dos genótipos em grupos distintos, para a característica PMS, pelo teste de Scott-Knott, mas se observa que, no caso do teste Tukey a 5% de probabilidade, com DMS de 8,49, diferenças seriam detectadas entre o genitor masculino G8 (Mercker 86-México) e o híbrido H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México) que correspondem às produções de 2,10 e $11,24 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 19).

Tabela 18: Altura da planta (ALT - m), diâmetro do colmo (DC - cm), largura da lâmina foliar (LL - cm), número de perfilhos (NP - m), percentagem de matéria seca (%MS) e produção de matéria seca em genótipos (PMS - t.ha⁻¹) de capim-elefante nos corte das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Genótipos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
H1	2,30 a	1,43 b	4,24 b	33,50 a	26,98 a	22,96 a
H2	1,75 b	1,61 a	4,16 b	23,75 b	23,87 b	10,45 b
H3	2,39 a	1,59 a	3,86 c	26,50 b	27,60 a	21,07 a
H4	2,37 a	1,47 b	3,70 c	37,67 a	28,22 a	20,76 a
H5	2,16 b	1,35 b	4,09 b	27,28 b	19,98 b	14,48 b
H6	2,09 b	1,41 b	4,13 b	35,00 a	25,75 a	19,46 a
H7	2,12 b	1,50 a	3,71 c	49,83 a	22,64 b	20,36 a
H8	2,03 b	1,60 a	3,76 c	38,33 a	22,97 b	20,67 a
H9	2,36 a	1,61 a	3,94 b	34,67 a	23,90 b	16,78 b
H10	2,14 b	1,39 b	3,95 b	33,00 a	23,32 b	17,98 a
H11	2,09 b	1,46 b	3,70 c	34,00 a	24,10 b	14,29 b
H12	2,01 b	1,36 b	3,79 c	43,17 a	23,34 b	16,57 b
H13	2,28 a	1,48 b	4,02 b	36,50 a	22,01 b	18,52 a
H14	2,32 a	1,36 b	4,00 b	41,50 a	24,15 b	18,14 a
H15	2,17 b	1,33 b	4,21 b	33,00 a	22,88 b	17,70 a
H16	2,34 a	1,46 b	4,04 b	30,17 b	26,94 a	18,66 a
H17	2,48 a	1,52 a	3,88 c	41,75 a	25,47 a	20,16 a
H18	2,60 a	1,44 b	3,76 c	35,83 a	25,21 a	22,96 a
H19	2,14 b	1,45 b	3,85 c	36,17 a	27,35 a	19,31 a
H20	2,18 b	1,52 a	4,04 b	23,75 b	26,04 a	16,06 b
H21	2,24 b	1,50 a	4,10 b	31,33 b	25,53 a	16,63 b
H22	2,18 b	1,58 a	3,73 c	42,50 a	22,86 b	15,05 b
H23	2,21 b	1,54 a	3,41 d	30,17 b	22,55 b	14,59 b
H24	2,10 b	1,41 b	3,62 d	34,33 a	24,39 b	16,37 b
H25	2,37 a	1,49 a	4,08 b	34,00 a	22,17 b	19,36 a
G1	2,15 b	1,64 a	4,54 a	28,50 b	25,36 a	16,31 b
G2	2,17 b	1,56 a	4,47 a	32,92 a	21,78 b	15,01 b
G3	2,06 b	1,29 b	3,91 c	29,27 b	22,77 b	11,73 b
G4	2,14 b	1,39 b	3,47 d	42,67 a	24,72 a	14,49 b
G5	1,93 b	1,45 b	4,36 a	31,60 b	23,59 b	13,67 b
G6	2,41 a	1,46 b	4,21 b	39,00 a	25,92 a	19,75 a
G7	2,22 b	1,43 b	3,47 d	40,37 a	23,11 b	15,24 b
G8	2,04 b	1,55 a	3,47 d	18,33 b	25,18 a	14,90 b
G9	2,52 a	1,33 b	3,41 d	38,00 a	26,55 a	18,57 a
G10	2,16 b	1,44 b	3,93 b	25,33 b	21,35 b	12,10 b
T	2,14 b	1,52 a	4,51 a	26,67 b	25,92 a	16,01 b
DMS-Tukey(1%)	0,63	0,41	0,87	21,73	6,96	12,24
DMS-Tukey(5%)	0,55	0,36	0,77	19,24	6,16	10,84

^{1/}Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Tabela 19: Altura da planta (ALT - m), diâmetro do colmo (DC - cm), largura da lâmina foliar (LL - cm), número de perfilhos (NP - m), percentagem de matéria seca (%MS) e produção de matéria seca (PMS - t.ha⁻¹) em genótipos de capim-elefante na época da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Genótipos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
H1	1,96 a	1,38 b	3,64 c	27,10 b	18,72 b	5,69 a
H2	1,46 b	1,37 b	3,69 c	18,67 b	22,00 a	3,35 a
H3	1,88 a	1,57 a	3,51 c	28,87 b	19,19 b	5,56 a
H4	1,86 a	1,30 b	3,41 c	40,67 a	18,51 b	6,99 a
H5	1,96 a	1,48 a	3,83 c	22,67 b	24,43 a	7,41 a
H6	2,02 a	1,59 a	3,68 c	25,53 b	23,13 a	6,26 a
H7	2,16 a	1,75 a	3,36 c	39,33 a	19,53 b	10,33 a
H8	1,85 a	1,49 a	3,53 c	40,93 a	26,54 a	11,24 a
H9	1,65 b	1,43 a	4,04 b	32,00 a	14,26 b	4,46 a
H10	1,96 a	1,60 a	3,65 c	28,80 b	23,87 a	8,20 a
H11	1,96 a	1,50 a	3,74 c	30,97 a	21,10 b	5,60 a
H12	1,90 a	1,23 b	2,90 d	43,27 a	18,82 b	6,69 a
H13	1,92 a	1,48 a	4,89 a	33,03 a	27,05 a	7,60 a
H14	1,67 b	1,32 b	3,81 c	38,80 a	20,17 b	6,92 a
H15	1,92 a	1,46 a	4,00 b	37,63 a	18,07 b	5,92 a
H16	2,00 a	1,36 b	3,36 c	21,87 b	21,75 a	4,82 a
H17	1,92 a	1,68 a	3,46 c	36,80 a	19,48 b	9,71 a
H18	1,62 b	1,11 b	2,97 d	34,87 a	25,40 a	7,22 a
H19	1,93 a	1,76 a	3,46 c	36,87 a	19,07 b	6,54 a
H20	1,88 a	1,43 a	3,48 c	23,33 b	26,81 a	5,63 a
H21	1,83 a	1,61 a	3,62 c	28,33 b	22,69 a	8,22 a
H22	1,62 b	1,62 a	3,56 c	39,33 a	15,30 b	4,46 a
H23	1,73 b	1,29 b	2,86 d	22,80 b	20,92 b	4,60 a
H24	2,23 a	1,73 a	3,45 c	22,67 b	19,09 b	5,71 a
H25	1,96 a	1,95 a	5,01 a	36,07 a	15,74 b	6,65 a
G1	1,87 a	1,07 b	4,15 b	22,33 b	26,92 a	7,19 a
G2	1,88 a	1,18 b	4,31 b	34,37 a	19,42 b	7,81 a
G3	1,65 b	1,45 a	4,00 b	31,93 a	23,43 a	6,96 a
G4	1,75 b	1,14 b	2,97 d	17,00 b	18,27 b	2,81 a
G5	1,73 b	1,82 a	4,15 b	33,93 a	25,76 a	6,73 a
G6	2,07 a	1,56 a	3,54 c	20,67 b	25,00 a	7,43 a
G7	1,58 b	1,62 a	3,09 d	36,07 a	17,95 b	5,69 a
G8	1,67 b	0,75 b	1,38 e	15,73 b	10,84 b	2,10 a
G9	1,72 b	1,21 b	3,21 d	45,83 a	21,15 b	5,79 a
G10	1,70 b	1,53 a	3,55 c	19,00 b	14,11 b	2,22 a
T	2,30 a	1,73 a	4,00 b	19,50 b	27,33 a	8,37 a
DMS-Tukey(1%)	0,59	1,03	1,77	30,2	19,23	9,59
DMS-Tukey(5%)	0,79	0,23	1,57	28,9	17,02	8,49

^{1/}Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Com objetivo de selecionar híbridos com maiores produções de biomassa, verificaram-se as combinações híbridas H1 (Cubano Pinda x Mercker), H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México), H4 (Cubano Pinda x Taiwan A-144), H6 (Cameroon – Piracicaba x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H10 (Cameroon – Piracicaba x Roxo), H13 (P241-Piracicaba x Mercker 86-México), H14 (P241-Piracicaba x Taiwan A-144), H15 (P241-Piracicaba x Roxo), H16 (IAC-Campinas x Mercker), H17 (IAC-Campinas x Três Rios) e H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México), H19 (IAC-Campinas x Taiwan A-144), H21 (Guaçu/IZ.2 x Mercker), H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) apresentaram-se no grupo com maior PMST. Apenas dois dos genitores apresentaram alta PMST, os G6 (Mercker) e G9 (Taiwan A-144), ou seja, foram obtidos híbridos com desempenho, em relação à produção de matéria seca, superior ao dos seus genitores, o que é desejável para a cultura do capim-elefante para fins energéticos (Tabela 20).

Tabela 20: Produção de matéria seca total (PMST – t.ha⁻¹) dos três cortes de avaliação em 36 genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Genótipos	PMST	Genótipos	PMST
H1	51,62 a	H19	45,16 a
H2	24,25 b	H20	37,75 b
H3	47,71 a	H21	41,49 a
H4	48,52 a	H22	34,57 b
H5	36,38 b	H23	33,80 b
H6	45,18 a	H24	38,47 b
H7	51,07 a	H25	45,37 a
H8	52,59 a	G1	39,82 b
H9	38,03 b	G2	37,83 b
H10	44,17 a	G3	30,44 b
H11	34,18 b	G4	31,79 b
H12	39,85 b	G5	34,07 b
H13	44,66 a	G6	46,94 a
H14	43,20 a	G7	36,17 b
H15	41,32 a	G8	31,90 b
H16	42,15 a	G9	42,94 a
H17	50,03 a	G10	26,43 b
H18	53,15 a	T	40,40 b
DMS-Tukey(1%)	28,96		
DMS-Tukey(5%)	25,64		

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

4.3. Análise dialélica de Griffing adaptada a dialelos parciais

4.3.1. Análise de variância para a capacidade de combinação

Ao observar os resultados da análise de variância da média dos dois cortes de avaliação das águas, pode-se verificar que os quadrados médios da capacidade geral de combinação do grupo 1 (genitores femininos) foram significativos a 1% de probabilidade para as características DC, LL, NP e %MS; e a 5% para a característica ALT; e apenas, para a característica PMS; não houve significância para a CGC do grupo 1. Em relação à capacidade geral de combinação do grupo 2 (genitores masculinos), houve significância para todas as características avaliadas nos cortes de avaliação na época das águas. Para as características LL, NP e %MS, essa significância foi de 1% de probabilidade e, para as características ALT, DC e PMS, foi em nível de 5% de probabilidade (Tabelas 21 e 22).

Esses resultados podem representar a existência de variabilidade, decorrentes da ação gênica de efeitos aditivos e não aditivos no controle da expressão gênica (Freitas Júnior et al., 2006). A presença de efeitos significativos para a CGC para as características avaliadas indica que os genitores diferiram entre si na frequência de alelos favoráveis, possuindo genitores mais promissores que outros para a produção de híbridos superiores (Pfann et al., 2009).

Tabela 21: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Genótipos	0,0886**	0,0239*	0,2513**
CGC ₍₁₎	0,0634*	0,0695**	0,3280**
CGC ₍₂₎	0,0889*	0,0389*	0,6198**
CEC	0,0863**	0,0150 ^{ns}	0,1288**
Grupo 1 vs Grupo 2	0,2430**	0,0043 ^{ns}	1,5323**
Resíduo	0,0281	0,0125	0,0565

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os quadrados médios, para a capacidade específica de combinação (CEC) das características DC e %MS, não foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste F nos cortes de avaliação das águas. Os quadrados médios para a CEC das demais características morfoagronômicas avaliadas apresentaram significância em 1% de probabilidade (Tabela 20 e 21). A significância dos quadrados médios para a CEC indica a presença de efeitos gênicos não aditivos envolvidos no controle dessas características (Sibiya et al., 2011) e que algumas combinações híbridas tendem a apresentar desempenho diferente do esperado com base na CGC.

No contraste entre grupos para as características morfoagronômicas na média entre os dois cortes de avaliação das águas, apenas os quadrados médios das características ALT e LL foram significativos em nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabelas 21 e 22). Esse fato evidencia que, para as características DC, NP, %MS e PMS, o número médio de alelos favoráveis é similar nos dois grupos de genitores em virtude da presença de genótipos produtivos em ambos os grupos (Pimentel et al., 2013).

Tabela 22: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Genótipos	128,6645**	11,4811**	28,1700**
CGC ₍₁₎	140,6259**	26,2446**	24,8812 ^{ns}
CGC ₍₂₎	408,6123**	36,8124**	32,7716*
CEC	86,9203**	5,3426 ^{ns}	28,0361**
Grupo 1 vs Grupo 2	4,6335 ^{ns}	4,5630 ^{ns}	26,2660 ^{ns}
Resíduo	34,7464	3,6021	10,6586

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹ **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

No corte de avaliação correspondente ao período de crescimento da seca, observou-se que, em relação ao grupo 1 (genitores femininos), houve significância em nível de 1% de probabilidade para as características DC, LL e NP. Para as características ALT, %MS e PMS, não houve diferenças significativas (Tabelas 23 e 24). Igualmente o que ocorreu no corte de avaliação da época das

águas, em que os quadrados médios da característica PMS não foram significativos pelo teste F.

Com relação à CGC do grupo 2 (genitores masculinos), as características DC, LL, NP foram significativas a 1%; e a ALT a 5% de probabilidade pelo teste F. Para a CGC do grupo 2 no corte da época da seca (Tabelas 23 e 24), a %MS e PMS não foram significativas. Isso não ocorreu no corte de avaliação correspondente ao crescimento do capim-elefante no período das águas, em que %MS e PMS apresentaram significância pelo teste F. Nesse período, os quadrados médios da CGC, do grupo 2, de todas as características morfoagronômicas avaliadas foram significativas a 1 ou a 5% de probabilidade (Tabelas 21 e 22). Condições adversas (ausência precipitação pluvial, baixa ou redução da temperatura e intensidade luminosa), como ocorreram no corte da seca, facilitam a seleção de genótipos superiores devido à maior variabilidade, o que não ocorreu no presente estudo.

Tabela 23: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Genótipos	0,0875 ^{ns}	0,1743**	1,1307**
CGC ₍₁₎	0,0265 ^{ns}	0,3400**	1,1852**
CGC ₍₂₎	0,1554*	0,3673**	1,9851**
CEC	0,0896 ^{ns}	0,1238*	0,7518**
Grupo 1 vs Grupo 2	0,0059 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	6,9697**
Resíduo	0,0581	0,0808	0,2261

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação à CEC, apenas a característica ALT não apresentou diferenças significativas pelo teste F. As demais características apresentaram significância a 1% (LL e PMS) ou a 5% (DC, NP e %MS) de probabilidade. Diferentemente do que ocorreu no corte das águas, em que os quadrados médios das características DC e %MS não foram significativos (Tabelas 23 e 24). A presença de quadrados médios significativos para a CEC indica a prevalência de efeitos não aditivos e que os híbridos podem ser explorados (Medeiros et al., 2014).

Não houve significância dos quadrados médios entre os grupos para as características ALT, DC, NP e PMS. Apenas os quadrados médios das características LL e %MS apresentaram significância pelo teste F no corte de avaliação do período da seca (Tabelas 23 e 24), resultado que difere ao ser comparado aos cortes de avaliação correspondentes ao período das águas.

Tabela 24: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo para as três características avaliadas no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Genótipos	200,7629**	47,8085*	12,3004**
CGC ₍₁₎	271,9685**	7,2414 ^{ns}	13,2702 ^{ns}
CGC ₍₂₎	531,7050**	36,2262 ^{ns}	3,5661 ^{ns}
CEC	144,3885*	50,7081*	13,2136**
Grupo 1 vs Grupo 2	1,5323 ^{ns}	183,9173*	20,5278 ^{ns}
Resíduo	76,6458	27,2435	6,3327

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

4.3.2. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação

Quanto às estimativas da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) nos cortes referentes ao período de crescimento das águas, observou-se que, para a característica ALT, os genótipos que se destacaram com valores positivos foram os genitores G4 (IAC-Campinas) com 0,0840, e o G9 (Taiwan A-144) com valor de 0,0784. O genitor G7 (Três Rios) se destacou com estimativa negativa para \hat{g}_i com valor de -0,0716. Esses resultados indicam que, ao selecionar genótipos G4 e G9 como genitores em cruzamentos, ocorrerá a produção de híbridos com maiores ALT, ao contrário de quando se seleciona o genótipo G7, em que a tendência é diminuição da ALT em sua progênie (Tabela 25).

A característica DC, nos cortes das águas, obteve o genitor G8 (Mercker 86-México) e o G1 (Cubano Pinda) como destaques, com valores positivos de 0,0544 e 0,0469, respectivamente; e o G3 (P241-Piracicaba) com valor negativo de -0,0798 (Tabela 24). Altos valores de \hat{g}_i , positivos ou negativos indicam que determinado genitor seja superior ou inferior, acarretando combinações

desejáveis ou indesejáveis quando associados com diferentes genitores (Vivas et al., 2012).

Nos cortes das águas, a característica LL apresentou o genitor G6 (Mercker) com valor de 0,1858, e o genitor G4 (IAC-Campinas) com valor de -0,1491, ou seja, os destaques positivo e negativos. Quando se deseja aumentar esta característica, recomenda-se a utilização do genitor G6 (Tabela 25).

A utilização do genitor G10 (Roxo) em cruzamentos pode conduzir a diminuição do NP, %MS e PMS. Tal fato não é desejável em programas de melhoramento genético do capim-elefante, para a produção de biomassa, para fins energéticos, em períodos de crescimento correspondente à época das águas. Entretanto, ao observar os resultados, verifica-se que os genitores G4 (IAC-Campinas), G6 (Mercker) e G9 (Taiwan A-144) apresentam potencial para serem utilizados nesses programas de melhoramento em virtude dos valores positivos de \hat{g}_i em destaque para as características %MS e PMS. Os valores de %MS para esses genótipos foram de 1,1389 para o genitor G6, de 1,2344 para o genitor G4 e de 1,1344 para o genitor G9. Em relação à PMS, os valores para o genitor G6 foi de 1,0459; para o genitor G4, 0,8628; e para o genitor G9, 0,7110. O genitor G2 (Cameroon-Piracicaba) apresentou valor de \hat{g}_i de destaque para a PMS, porém esse mesmo efeito foi negativo para a %MS (Tabela 25).

Tabela 25: Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (\hat{g}_i e \hat{g}_j) de dez genótipos de capim-elefante para as seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Genitores	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
G1	-0,0016	0,0469	0,1431	-3,7582	0,8933	0,4424
G2	-0,0216	0,0358	0,0642	1,9051	-0,7989	0,7692
G3	-0,0271	-0,0798	-0,0347	0,7984	-0,8144	-1,0739
G4	0,0840	-0,0164	-0,1491	1,4984	1,2344	0,8628
G5	-0,0338	0,0136	-0,0236	-0,4438	-0,5144	-1,0005
G6	0,0296	-0,0056	0,1858	0,4498	1,1389	1,0459
G7	-0,0716	0,0200	-0,0842	4,8653	-0,7222	-1,0035
G8	-0,0049	0,0544	-0,1309	-3,7736	-0,0189	0,6144
G9	0,0784	-0,0344	-0,1131	2,4876	1,1344	0,7110
G10	-0,0316	-0,0344	0,1424	-4,0291	-1,5322	-1,3678

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

Em relação aos efeitos da \hat{g}_i no corte de avaliação da época de crescimento da seca, pode-se observar que o genitor G2 (Cameroon – Piracicaba), apesar de não ter se destacado quanto às características ALT, DC, LL, NP e %MS, apresentou maior valor de \hat{g}_i (1,1501) para a característica PMS, ou seja, a utilização do genitor G2 é promissora em programas de melhoramento do capim-elefante que visem ao aumento da produção da biomassa (Tabela 26). Esse genitor feminino obteve o terceiro maior valor para o efeito de \hat{g}_i nos cortes de avaliação da época das águas, com valor de 0,7692. O genitor G2, por apresentar boa CGC para a PMS, no período das águas e da seca, poderá ser usado em combinações genéticas que visem ao aumento da produção de matéria seca. Os segundo (0,3855) e terceiro (0,3324) valores positivos de efeito de \hat{g}_i pertenceram aos genitores G7 (Três Rios) e G6 (Mercker) (Tabela 26). O genitor G4 (IAC-Campinas), no corte das águas, obteve estimativa de \hat{g}_i (-0,6907) negativa para a PMS (Tabela 25). Com isso, pode-se dizer que as estratégias de melhoramento que visem à melhoria da produção de biomassa energética, em genótipos de capim-elefante, devem ser diferentes no período de crescimento na época das águas e seca. Como na cultura do capim-elefante não existem

genótipos recomendados para crescimento em diferentes épocas (águas e seca), deve-se, quando se desejar a melhoria da produção de biomassa energética, selecionar genótipos com produção estável em diferentes ambientes.

Tabela 26: Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (\hat{g}_i e \hat{g}_j) de dez genótipos de capim-elefante para as seis características morfoagronômicas avaliadas em 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Genitores	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
G1	-0,0042	-0,1042	0,0400	-3,4918	0,7582	-0,2622
G2	0,0536	0,0069	0,0967	2,3627	-0,4107	1,1501
G3	-0,0287	-0,0287	0,1444	3,7216	0,2504	0,0990
G4	-0,0098	-0,0609	-0,3689	-2,9251	-0,0896	-0,6907
G5	-0,0109	0,1869	0,0878	0,3327	-0,5084	-0,2962
G6	0,1164	0,0431	0,1164	-4,2247	1,9364	0,3324
G7	-0,0713	0,0831	-0,1047	4,0420	-0,9902	0,3855
G8	-0,0602	-0,1924	-0,3958	-2,3558	0,0942	-0,2260
G9	-0,0102	-0,0236	0,0520	5,5009	-0,728	-0,0255
G10	0,0253	0,0898	0,3320	-2,9624	-0,3124	-0,4664

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

4.3.3. Estimativas dos efeitos da capacidade específica e análise de heterose

Os efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) são medidos de efeitos gênicos não aditivos. O sinal negativo indica a existência de desvios de dominância unidirecional, sendo que, quanto maior \hat{s}_{ij} a divergência do genitor i em relação aos outros genitores avaliados, maior será o valor absoluto de \hat{s}_{ij} (Cruz et al. 2012). Segundo Griffing (1956), as melhores combinações híbridas são aquelas que apresentam maior efeito de \hat{s}_{ij} e que os genitores apresentem alta CGC.

Os efeitos de \hat{s}_{ij} de maior magnitude e positivos para a característica ALT foram para as combinações híbridas H17 (IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) nos cortes de

avaliação das águas. Esses valores foram de 0,2570 para H17; 0,3204 para H18; e de 0,2347 para H25 (Tabela 27). Porém, apenas as combinações H17 e H18, entre os genitores avaliados nos cortes das águas (Tabela 25), apresentaram o genitor (IAC-Campinas) com efeito de \hat{g}_i de destaque para a ALT.

As combinações H2 (Cubano Pinda x Três Rios) e H20 (IAC-Campinas x Roxo) apresentaram valores de destaque e positivos para a característica LL. Este valor foi de 0,1840 para H2, e de 0,1295 para H20. Porém, essas combinações híbridas apresentaram valores efeito de \hat{s}_{ij} negativos de -11,4625 e -7,8247, para a característica NP; e de -6,1699 e -0,6131 para a característica PMS, respectivamente (Tabela 27). Com isso, essas combinações híbridas não se apresentaram promissoras, já que o objetivo é a associação positiva entre estas características avaliadas (Gonçalves et al., 2014).

Em relação à produção de biomassa (PMS), as combinações híbridas H16 (Cameroon – Piracicaba x Mercker), H20 (IAC-Campinas x Roxo), H22 (Guaçu/IZ.2 x Três Rios), H21 (Guaçu/IZ.2 x Mercker) e H24 (Guaçu/IZ.2 x Taiwan A-144) produziram efeito de \hat{s}_{ij} negativo, com valores de -0,4199; -0,6131 e -0,5865, respectivamente, no corte de avaliação referente à época das águas. Esses resultados indicam o uso dessas combinações híbridas em programas de melhoramento para a produção de biomassa energética, visto que a possibilidade de ganho genético é baixa em virtude das estimativas negativas de \hat{s}_{ij} , mesmo sendo esses valores de baixa magnitude.

Os híbridos H1 (Cubano Pinda x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H17 (IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) obtiveram valores de alta magnitude (divergência entre genitores) e positivos para \hat{s}_{ij} nos cortes de avaliações da época das águas. Os valores do efeito da \hat{s}_{ij} para as combinações H1, H7, H17, H18 e H25 foram de 4,2966; 3,4232; 3,1226; 4,3077 e 4,5503 (Tabela 27). Esses valores de \hat{s}_{ij} de destaque e positivo indicam a possibilidade de ganhos genéticos para a PMS nessas combinações híbridas.

Tabela 27: Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ij}$), para as seis características morfoagronômicas, de 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Híbridos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
H1	0,0614	-0,0819	-0,0060	2,7030	0,6535	4,2966
H2	-0,3775	0,0726	0,1840	-11,4625	-0,6054	-6,1699
H3	0,1859	0,0281	-0,0594	-0,0737	2,4313	2,8422
H4	0,0825	-0,0130	-0,2371	4,8352	1,8880	2,4285
H5	-0,0175	-0,1330	-0,1027	0,9619	-3,6854	-1,7696
H6	-0,1286	-0,0808	-0,0371	-1,4603	1,1057	0,4667
H7	0,0125	-0,0263	-0,1871	8,9542	-0,1432	3,4232
H8	-0,1541	0,0392	-0,0805	6,0930	-0,5065	2,1153
H9	0,1025	0,1381	0,0718	-3,8281	-0,7398	-1,8714
H10	-0,0175	-0,0819	-0,1638	1,0186	1,3568	1,4075
H11	-0,1130	0,0847	-0,3582	-1,3537	-0,5287	-2,8602
H12	-0,0919	-0,0508	-0,0082	3,4009	0,5724	1,4723
H13	0,1115	0,0347	0,2784	5,3697	-1,4609	1,8084
H14	0,0581	0,0036	0,2306	4,1086	-0,4742	1,3277
H15	0,0281	-0,0264	0,1851	2,1252	0,9224	2,9666
H16	0,0259	0,0114	0,0862	-5,8836	0,2624	-0,4199
H17	0,2570	0,0459	0,1962	1,2809	0,6535	3,1226
H18	0,3204	-0,0686	0,1328	3,9997	-0,3098	4,3077
H19	-0,2330	0,0303	0,2051	-1,9214	0,6869	0,5580
H20	-0,0730	0,1003	0,1295	-7,8247	2,0335	-0,6131
H21	0,0336	0,0214	0,0207	-2,7814	0,6113	-0,5865
H22	0,0747	0,0759	-0,0793	3,9731	-0,1976	-0,1210
H23	0,0381	0,0014	-0,3527	0,2819	-1,2209	-2,1949
H24	-0,1553	-0,0397	-0,1604	-1,8192	-0,5342	-0,5116
H25	0,2347	0,0403	0,0440	4,3675	-0,0876	4,5503

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

Observa-se, no corte de avaliação da seca em relação à característica DC, que os valores maiores de efeito de $\hat{\sigma}_{ij}$ foram as combinações híbridas H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México) e H19 (IAC-Campinas x Taiwan A-144), cujos genitores apresentaram efeito de $\hat{\sigma}_i$ negativos (Tabela 26). Os valores de efeito de $\hat{\sigma}_{ij}$ foram de 0,4123 para H3, e de 0,3901 para H19 (Tabela 28).

A característica ALT apresentou os maiores efeitos e positivos de capacidade específica de combinação para as combinações híbridas H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H12, (P241-Piracicaba x Três Rios), H13 (P241-Piracicaba x Mercker 86-México), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-

México) e H24 (Guaçu/IZ.2 x Taiwan A-144), com valores de 0,3435; 0,1557; 0,1646; 0,1543 e 0,4068, respectivamente (Tabela 28). Esses resultados são favoráveis para o capim-elefante destinado à produção de energia, visto que, segundo Rossi et al. (2014), analisando correlação canônica entre as características morfoagronômicas e as qualidades de biomassa, existe correlação positiva entre a ALT e a porcentagem de celulose e lignina. Isso porque, com o aumento da idade da planta, ocorre também o aumento da proporção de colmo no material colhido.

Em relação à característica NP no corte da época da seca, as combinações híbridas que apresentaram os maiores valores de efeito $\hat{\sigma}_{ij}$ e positivos foram H4 (Cubano Pinda x Taiwan A-144), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo), com valores de 8,1446; 10,4068; 9,6346 e 8,1835, respectivamente. As combinações H8 e H18 apresentaram, além da característica NP, as características %MS e PMS com destacados valores para o efeito $\hat{\sigma}_{ij}$. A combinação H8 apresentou valor de $\hat{\sigma}_{ij}$ de 6,1544 para %MS, e valor de 4,6933 para PMS. A combinação H18 apresentou valor de 4,6933 para %MS, e valor de 1,8385 para PMS (Tabela 28).

Em relação somente à característica PMS, no corte da época da seca, foi observado que as combinações híbridas H7 (Cameroon-Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México) e H17 (IAC-Campinas x Três Rios) apresentaram valores de efeito de $\hat{\sigma}_{ij}$ de destaque e positivos. Esses valores foram de 2,4902 para H7; de 4,0117 para H8; e de 3,7140 para H17. (Tabela 28). Pereira et al. (2006), ao avaliarem a capacidade combinatória de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milho em esquema de dialelo parcial, observaram que a estratégia de melhoramento por meio de cruzamento intraespecífico em capim-elefante, para as características NP, %MS e PMS, poderá proporcionar ganhos devido à maior variabilidade existente entre os genótipos de capim-elefante.

Tabela 28: Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ij}$), para as seis características morfoagronômicas, de 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Híbridos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
H1	0,0135	-0,0132	-0,0901	4,3002	-4,6767	-0,6744
H2	-0,2987	-0,0632	0,1710	-12,3965	1,5300	-3,0716
H3	0,1002	0,4123	0,2822	4,2013	-2,3645	-0,2561
H4	0,0402	-0,0266	-0,2656	8,1446	-2,2222	0,9834
H5	0,1046	0,0401	-0,1256	-1,3920	3,2822	1,8403
H6	0,0057	0,0857	-0,1068	-3,1243	0,9022	-1,5236
H7	0,3435	0,2057	-0,2057	2,4090	0,2289	2,4902
H8	0,0124	0,2212	0,2555	10,4068	6,1544	4,0117
H9	-0,2376	-0,0077	0,3077	-6,3798	-5,3033	-2,9628
H10	0,0468	0,0490	-0,3523	-1,1165	3,8911	1,2151
H11	0,0379	0,0313	-0,1046	0,9568	-1,7889	-1,1325
H12	0,1557	-0,2687	-0,7235	4,9901	-1,1422	-0,0927
H13	0,1646	0,2468	1,5677	1,1479	6,0133	1,4258
H14	-0,1354	-0,0721	0,0299	-0,9388	-0,0444	0,5423
H15	0,0790	-0,0454	-0,0602	6,3546	-2,5600	-0,0168
H16	0,0490	-0,0765	0,0387	-1,4965	-0,7989	-1,1258
H17	-0,1568	0,2135	0,3598	5,1668	-0,1322	3,7140
H18	0,1543	-0,0910	0,1610	9,6346	4,6933	1,8385
H19	0,1057	0,3901	0,1932	3,7779	-0,8144	0,9580
H20	0,0201	-0,0532	-0,0568	-1,2987	6,5100	0,4889
H21	-0,1199	-0,0643	-0,1679	1,7057	0,5600	1,8796
H22	-0,1421	-0,1043	0,0032	4,4390	-3,8933	-1,9306
H23	-0,0432	-0,1488	-0,4056	-5,6932	0,6322	-1,1761
H24	0,4068	0,1123	-0,2734	-13,6799	-0,3755	-0,2696
H25	0,1112	0,2190	1,0066	8,1835	-4,1411	1,1083

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

Os híbridos H1 (Cubano Pinda x Mercker), H7 (Cameroon-Piracicaba x Três Rios), H17 (IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo), que obtiveram valores de alta magnitude e positivos para $\hat{\sigma}_{ij}$ nos cortes das águas, apresentaram valores de heterose relativa para a característica PMS de 4,980; 5,2405; 5,7205; 5,2935; 8,2665 e 6,4700, respectivamente. Tais valores estão entre os maiores valores observados, ou seja, a possibilidade de ganho genético em relação à PMS nessas combinações híbridas. Além dos valores de destaque de heterose relativa para a característica PMS, as combinações híbridas H7 e H8 também apresentaram os maiores valores de heterose para a característica NP, a saber, de 13,1850 e 12,7050 (Tabela 29). Isso se deve ao fato de a característica NP estar correlacionada positivamente com a PMS (Daher et al., 2004).

No período de crescimento da seca, a combinação híbrida H7 (Cameroon-Piracicaba x Três Rios) que apresentou valor de destaque e positivo para a PMS, apresentou também valor de heterose relativa (3,5755) de destaque entre os genótipos avaliados. Já a combinação H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México) apresentou valor de maior magnitude e de sinal positivo de heterose relativa para as características NP (15,8800), %MS (11,405) e PMS (6,2805). A combinação híbrida H17 (IAC-Campinas x Três Rios) apresentou o segundo maior valor, o quarto maior valor de heterose relativa para a característica NP e o segundo para a característica PMS em relação às demais combinações híbridas (Tabela 30).

A heterose é a manifestação dos efeitos benéficos da hibridação, ou seja, quando o híbrido possui desempenho superior ao da média dos seus genitores (Falconer, 1987). Existe correlação positiva entre divergência genética e heterose (Falconer e Makay, 1996), ou seja, quanto maior for a magnitude da heterose, maiores serão as diferenças de frequências gênicas entre as populações (Viana, 2007).

Tabela 29: Estimativa da heterose relativa, para as seis características morfoagronômicas avaliadas, em 25 híbridos nos cortes das águas obtidos por cruzamento dialélico parcial entre dez genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Híbridos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
H1	0,0150	-0,1250	-0,1350	-0,2500	1,3500	4,9280
H2	-0,4250	0,0700	0,1550	-10,6850	-0,3650	-5,3310
H3	0,2950	0,0050	-0,1350	3,0850	2,3350	5,4690
H4	0,0300	-0,0150	-0,2650	4,4200	2,2650	3,3185
H5	0,0050	-0,1900	-0,1350	0,3650	-3,3800	0,2730
H6	-0,2050	-0,0950	-0,2100	-0,9600	1,9000	2,0765
H7	-0,0650	0,0000	-0,2600	13,1850	0,1950	5,2405
H8	-0,0750	0,0450	-0,2000	12,7050	-0,5050	5,7205
H9	0,0200	0,1650	0,0000	-0,7900	-0,2650	-0,0030
H10	-0,0250	-0,1100	-0,2400	3,8750	1,7600	4,4285
H11	-0,1450	0,0850	-0,3500	-0,1350	-0,2450	-1,4570
H12	-0,1250	-0,0100	0,1000	8,3500	0,4000	3,0830
H13	0,2350	0,0550	0,3400	12,7000	-1,9700	5,2070
H14	0,0200	0,0450	0,3400	7,8650	-0,5100	2,9895
H15	0,0650	-0,0400	0,2900	5,7000	0,8150	5,7810
H16	0,0700	0,0300	0,2000	-0,6651	1,6200	1,5435
H17	0,3000	0,1050	0,4100	0,2300	1,5550	5,2935
H18	0,5200	-0,0300	0,3000	5,3300	0,2550	8,2665
H19	-0,1950	0,0900	0,4200	-4,1650	1,7250	2,7800
H20	0,0400	0,1050	0,3400	-10,2500	3,0000	2,7615
H21	0,0600	0,0350	-0,1850	-3,9700	0,7800	-0,0780
H22	0,1000	0,1300	-0,1850	6,5150	-0,4850	0,5950
H23	0,2200	0,0350	-0,5050	5,2050	-1,8450	0,3090
H24	-0,1350	0,0150	-0,2650	-0,4700	-0,6850	0,2555
H25	0,3300	0,0400	-0,0650	5,5350	-0,3100	6,4700

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

Tabela 30: Estimativa da heterose relativa, para as seis características morfoagronômicas avaliadas, em 25 híbridos no corte da seca obtidos por cruzamento dialélico parcial entre dez genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Híbridos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
H1	0,0000	0,0650	-0,2050	5,6000	-7,2400	-1,6130
H2	-0,2550	0,0200	0,0650	-10,5300	-0,4350	-3,0885
H3	0,1100	0,6600	0,7400	9,8400	0,3050	0,9105
H4	0,0750	0,1600	-0,2750	6,5900	-5,5250	0,5020
H5	0,1850	0,1800	-0,0300	2,0050	3,9150	2,7050
H6	0,0450	0,2150	-0,2400	-1,9900	0,9200	-1,3600
H7	0,4400	0,3400	-0,3300	4,1100	0,8450	3,5755
H8	0,0750	0,5200	0,6950	15,8800	11,4050	6,2805
H9	-0,1500	0,2300	0,2800	-8,1000	6,0250	-2,3420
H10	0,0900	0,2400	-0,2750	2,1150	7,1050	3,1820
H11	0,1100	-0,0050	-0,0350	4,6700	-3,1200	-1,5950
H12	0,2850	-0,3000	-0,6450	9,2700	-1,8750	0,3665
H13	0,2600	0,3800	2,2100	9,2000	9,9150	3,0685
H14	-0,0150	0,0000	0,2050	-0,0800	-2,1150	0,5370
H15	0,2450	-0,0200	0,2200	12,1650	-0,6950	1,3240
H16	0,0900	0,0100	0,1050	3,0350	0,1150	-0,3015
H17	0,2550	0,3050	0,4350	10,2650	1,3800	5,4600
H18	-0,0900	0,1650	0,8000	18,5050	10,8400	4,7680
H19	0,1950	0,5850	0,3650	5,4550	-0,6400	2,2395
H20	0,1550	0,0950	0,2200	5,3300	10,6200	3,1165
H21	-0,0700	-0,0700	-0,2350	1,0300	-2,6950	1,1385
H22	-0,0350	-0,1050	-0,0550	4,3300	-6,5500	-1,7500
H23	0,0300	0,0150	0,1000	-2,0300	2,6100	0,1880
H24	0,5050	0,2150	-0,2350	-17,2100	-4,3700	-0,5535
H25	0,2550	0,2750	1,1500	9,6050	-4,2000	2,1705

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

3.3.4. Análise da capacidade combinatória para a produção de matéria seca total

Ao analisar os resultados da análise variância da PMST, observa-se que as combinações híbridas não foram semelhantes às da média dos genitores, podendo, portanto, se obter bons híbridos no conjunto de genitores avaliados no presente estudo. Isso se deve ao fato da presença de diferenças significativas ($P < 0,05$) para a CEC (Tabela 31).

Tabela 31: Estimativas dos quadrados médios de genótipos de capim-elefante (genitores e híbridos) das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC) e do resíduo, para a característica produção de matéria seca total, dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

	Quadrado médio	PMST ^{1/}
Genótipos	162,4579**	
CGC ₍₁₎	32,6918 ^{ns}	
CGC ₍₂₎	122,5286 ^{ns}	
CEC	146,6131*	
Grupo 1 vs Grupo 2	176,5724**	
Resíduo	57,7377	

^{1/}PMST – produção de matéria seca total, em t.ha⁻¹. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Observou-se, em relação aos efeitos \hat{g}_i para a PMST, que os genitores G2 (Cameroon-Piracicaba) e G6 (Mercker) apresentaram valores de destaque e positivos (2,6876 e 2,4241, respectivamente). Esses mesmos genitores apresentaram efeitos de \hat{g}_i de destaque nas avaliações da época das águas e seca (Tabelas 25 e 26), ou seja, esses genótipos podem ser utilizados em programas de melhoramento que visem à obtenção de combinações híbridas de elevada produção de biomassa energética. Este resultado corrobora o observado por Oliveira et al. (2014), em que o genótipo Cameroon-Piracicaba foi classificado no grupo elite para a produção de energia alternativa por meio da biomassa.

Tabela 32: Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação dos grupos 1 e 2 (\hat{g}_i e \hat{g}_j) de dez genótipos de capim-elefante, para a característica produção de matéria seca total, avaliada em 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Genitores	PMST ^{1/}	Genitores	PMST ^{1/}
G1	0,6232	G6	2,4241
G2	2,6876	G7	-1,6204
G3	-2,0472	G8	1,0038
G4	1,0342	G9	1,3960
G5	-2,2979	G10	-3,2035

^{1/}PMST – produção de matéria seca total.

De acordo com Souza Sobrinho et al. (2005), deve-se selecionar híbridos com desempenho estável em sucessivos cortes, principalmente quanto à PMS. Com base nessa informação, nos efeitos de \hat{s}_{ij} e na heterose relativa para a característica, verifica-se que, para a produção de biomassa energética, as combinações H1, H7, H8, H17, H18 e H25 apresentaram os maiores valores de \hat{s}_{ij} e de heterose relativa para a PMST (Tabela 33), ou seja, pode-se obter ganho genético na utilização desses materiais em programas de melhoramento genético. Porém, a seleção desses genótipos nesse estudo, foi realizada com base na média da parcela, e as combinações híbridas são heterogêneas. Devido a esses dois fatores, recomenda-se a avaliação desses genótipos entre e dentro de famílias como ocorre na cultura da cana-de-açúcar. O conhecimento do potencial dos genótipos como genitores e das melhores combinações híbridas é importante para a obtenção de famílias superiores, embora, após essa seleção, deva-se avaliar e identificar clones superiores dentro de mesma família (Lucius et al., 2014).

Tabela 33: Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) e da heterose relativa, para a característica produção de matéria seca total, de 25 combinações híbridas resultantes de cruzamentos dialélicos parciais nos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Híbridos	PMST ^{1/}	Heterose relativa
H1	7,9221	8,2455
H2	-15,4134	-13,7495
H3	5,4254	11,8485
H4	5,8463	7,1445
H5	-1,7003	3,2505
H6	-0,5922	2,7905
H7	9,3423	14,0655
H8	8,2441	17,7265
H9	-6,7080	-2,3505
H10	4,0314	12,0415
H11	-6,8544	-4,5115
H12	2,8571	6,5405
H13	5,0459	13,4885
H14	3,1938	6,5115
H15	5,9162	12,8865
H16	-1,9689	2,7805
H17	9,9616	16,0515
H18	10,4574	21,3065
H19	2,0693	7,7935
H20	-0,7353	8,6415
H21	0,7062	0,9835
H22	-2,1723	-0,5545
H23	-5,5605	0,8165
H24	-1,2886	-0,0365
H25	10,2108	15,1155

^{1/}PMST – produção de matéria seca total.

4.4. Análise dialélica de Gardner e Eberhart adaptada a dialelos parciais

4.4.1. Análise de variância para genitores e heteroses

Efeitos significativos para genótipos nas seis características nos cortes da época das águas utilizadas neste trabalho permitiram o desdobramento dessa fonte de variação entre grupos, para os grupos I e II e heterose (Tabelas 34 e 35).

Observa-se que os quadrados médios, para a fonte de variação entre grupos (G1 e G2) das características ALT e LL, foram significativos ($P < 0,01$), enquanto que, para a característica DC, observou-se efeito não significativo ($P > 0,05$). No caso da característica ALT, houve significância ($P < 0,01$) também para o quadrado médio da fonte de variação heterose específica. Segundo

Nascimento et al. (2010), o efeito significativo dos efeitos entre os grupos e de heterose, principalmente da heterose específica, caso da característica ALT, indica que o caráter foi influenciado pela participação tanto de efeitos aditivos, quanto de efeitos não aditivos.

Em relação à característica DC, apesar de efeitos significativos para os grupos I e II ($P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente) não houve efeito significativo pelo teste F para a fonte de variação heterose, evidenciando a possibilidade de não se obter ganhos com a exploração de combinações híbridas (Cruz et al., 2012) em programas que visem o melhoramento dessa característica em capim-elefante.

Em relação às características NP e %MS, houve diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) no grupo I (genitores femininos) e no grupo II (genitores masculinos). Para a característica PMS, diferenças significativas ($P < 0,05$) pelo teste F foram detectadas apenas no grupo II. Isso indica que há diferenças na frequência gênica entre os genitores dentro dos grupos I e II, nas características NP e %MS, e apenas no grupo II, na característica PMS (Viana et al., 2007).

Tabela 34: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante, nos cortes das águas, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Fontes de variação	Grau de liberdade	Características ^{1/}		
		ALT	DC	LL
Genótipos	34	0,0885**	0,0239*	0,2513**
Entre grupos	1	0,2430**	0,0043 ^{ns}	1,5323**
Grupo I	4	0,0634 ^{ns}	0,0695**	0,3279**
Grupo II	4	0,0889*	0,0389*	0,6198**
Heterose	25	0,0863**	0,0150 ^{ns}	0,1288**
H. Média	1	0,0296 ^{ns}	0,0066 ^{ns}	0,0019 ^{ns}
H. Varietal (I)	4	0,0553 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,3894**
H. Varietal (II)	4	0,1055**	0,0129 ^{ns}	0,0419 ^{ns}
H. Específica	16	0,0928**	0,0165 ^{ns}	0,0933 ^{ns}
Resíduo	68	0,0281	0,0125 ^{ns}	0,0565

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 35: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante, nos cortes das águas, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Fontes de variação	Grau de liberdade	Características ^{1/}		
		NP	%MS	PMS
Genótipos	34	128,6645**	11,4811**	28,1699**
Entre grupos	1	4,6334 ^{ns}	4,5630 ^{ns}	26,2660 ^{ns}
Grupo I	4	140,6259**	26,2446**	24,8812 ^{ns}
Grupo II	4	408,6123**	36,8124**	32,7716*
Heterose	25	86,9203**	5,3426 ^{ns}	28,0361**
H. Média	1	95,3117 ^{ns}	3,0230 ^{ns}	167,6186*
H. Varietal (I)	4	131,4916**	4,8004 ^{ns}	8,5896 ^{ns}
H. Varietal (II)	4	107,0847*	1,7478 ^{ns}	16,6511 ^{ns}
H. Específica	16	70,2119*	6,5219*	27,0201**
Resíduo	68	34,7463	3,6021	10,6586

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

As análises de variância para os genitores e heteroses, referentes ao corte de avaliação na época da seca, encontram-se nas Tabelas 36 e 37.

Verificou-se efeito significativo para o genótipo, exceto para a característica ALT (P>0,05). Entretanto, os resultados decorrentes dos desdobramentos dessa fonte de variação para ALT foram considerados fundamentais por haver revelado significância (P<0,05).

Verificou-se que a fonte de variação de heterose média foi significativa para as características ALT (P<0,05), DC (P<0,01), NP (P<0,05) e PMS (P<0,05). Para a característica %MS, além de não ser constatada significância para a fonte de variação heterose média, não ocorreu significância para a fonte de variação heterose específica. Segundo Maciel et al. (2010), as significâncias dos valores de heterose média refletem a superioridade dos híbridos em relação às da média dos genitores. De acordo com esses mesmos autores, a não significância dos valores de heterose específica reflete a maior importância da variância aditiva, sendo possível a obtenção de ganhos com a avaliação *per se* dos genitores.

Observa-se que, para as características ALT, DC e NP, não houve efeito significativo para as fontes de variação heterose varietal I e II. Em relação às características LL, %MS e PMS, houve significância apenas para a fonte de variação heterose varietal II e maior contribuição do grupo II na manifestação da

heterose para essas características. A não significância, para a heterose varietal, mostra que a heterose está uniformemente distribuída entre os cruzamentos, sem contribuição heterótica diferenciada de cada variedade (Ferreira et al., 2009).

Tabela 36: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante no corte da seca, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Fontes de variação	Grau de liberdade	Características ^{1/}		
		ALT	DC	LL
Genótipos	34	0,0874 ^{ns}	0,1742 ^{**}	1,1307 ^{**}
Entre grupos	1	0,0059 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	6,9697 ^{**}
Grupo I	4	0,0265 ^{ns}	0,3400 [*]	1,1852 ^{**}
Grupo II	4	0,1554 [*]	0,3673 [*]	1,9851 ^{**}
Heterose	25	0,0896 ^{ns}	0,1238 ^{ns}	0,7517 ^{**}
H. Média	1	0,2844 [*]	0,5976 ^{**}	0,8675 ^{ns}
H. Varietal (I)	4	0,0214 ^{ns}	0,1024 ^{ns}	0,2065 ^{ns}
H. Varietal (II)	4	0,0272 ^{ns}	0,1109 ^{ns}	1,2011 ^{**}
H. Específica	16	0,1101 [*]	0,1028 ^{ns}	0,7685 ^{**}
Resíduo	68	0,0581	0,0808	0,2260

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm. ^{**}significativo a 1% de probabilidade; ^{*}significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 37: Resumo da análise de variância de três características avaliadas em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante no corte da seca, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Fontes de variação	Grau de liberdade	Características ^{1/}		
		NP	%MS	PMS
Genótipos	34	200,7629 [*]	47,8085 ^{**}	12,3003 [*]
Entre grupos	1	1,5323 ^{ns}	183,9173 ^{**}	20,5278 ^{ns}
Grupo I	4	271,9684 [*]	7,2414 ^{ns}	13,2702 ^{ns}
Grupo II	4	531,7050 [*]	36,2262 ^{ns}	3,5661 ^{ns}
Heterose	25	144,3885 ^{**}	50,7081 ^{**}	13,2135 [*]
H. Média	1	336,4417 ^{**}	7,1986 ^{ns}	28,6932 [*]
H. Varietal (I)	4	95,8102 ^{ns}	65,0210 ^{ns}	11,2534 ^{ns}
H. Varietal (II)	4	152,5582 ^{ns}	133,7279 ^{**}	17,0151 [*]
H. Específica	16	142,4873 ^{**}	29,0942 ^{ns}	11,7857 [*]
Resíduo	68	76,6458	27,2435	6,3327

^{1/}NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹. ^{*}significativo a 1% de probabilidade; ^{**}significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

4.4.2. Efeito de variedades

Os genitores que se destacaram com efeito positivo de \hat{v}_i e \hat{v}_j para a característica ALT foram os genitores G2 (Cameroon – Piracicaba), com valor de 0,0760 no grupo I, e G9 (Taiwan A-144) com valor de 0,2560 no grupo II, revelando maior potencial de contribuição para o aumento da magnitude dessa característica em seus híbridos. No caso da característica DC, não foram observados efeitos negativos de \hat{v}_i e \hat{v}_j . Na característica NP, em que houve significância para os grupos I e II, os genitores que se destacaram com efeito positivo de \hat{v}_i e \hat{v}_j foram os G7 (Três Rios) e G4 (IAC-Campinas), com valores de 8,1640 e 9,6780, respectivamente. Porém, os genitores que se destacaram em relação a PMS foram os G1 (Cubano Pinda) e G6 (Mercker), nos valores de \hat{v}_i (2,0684) e \hat{v}_j (3,6410), nos cortes de avaliação da época das águas (Tabela 38). Desta forma, os genitores superiores podem ser identificados e selecionados para constituírem populações-base por meio de cruzamentos (Cruz et al., 2012).

Tabela 38: Estimativas da média dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores de capim-elefante nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Genitores	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
G1	0,0560	0,1700	0,3900	-4,4920	1,7140	2,0684
G2	0,0760	0,0900	0,3200	-0,0720	-1,8660	0,7654
G3	-0,0240	-0,1700	-0,2400	-3,7220	-0,8760	-2,5076
G4	0,0460	-0,0800	-0,6800	9,6780	1,0740	0,2454
G5	-0,1540	-0,0100	0,2100	-1,3920	-0,0460	-0,5716
G6	0,1460	0,0240	0,5120	6,7940	1,4940	3,6410
G7	-0,0540	-0,0060	-0,2280	8,1640	-1,3160	-0,8730
G8	-0,2340	0,1040	-0,2280	-13,8760	0,7640	-1,2130
G9	0,2560	-0,1160	-0,2880	5,7940	2,1240	2,4540
G10	-0,1140	-0,0060	0,2320	-6,8760	-3,0660	-4,0090

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

As estimativas do efeito de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j) das seis características avaliadas, nos dez genitores de capim-elefante no corte da seca, encontram-se na Tabela 39.

No que se refere às características ALT, os genitores que se sobressaíram no grupo I (onde não ocorreram diferenças significativas pelo teste F) e II foram novamente o G2 (Cameroon – Piracicaba), com valor de \hat{v}_i de 0,1040, e o G6 (Mercker), com valor de \hat{v}_j de 0,3220. Houve resposta diferenciada em relação ao corte das águas em que o genitor G9 (Taiwan A-144) sobressaiu no grupo II. No entanto, no corte de avaliação da seca, esse genitor apresentou estimativa negativa de \hat{v}_j (-0,0280), indicando que seus híbridos tenderam a reduzir a ALT em condições de menor disponibilidade de água.

Em relação à característica DC, observou-se que os genitores femininos (grupo I) G1 (Cubano Pinda), G2 (Cameroon – Piracicaba) e G4 (IAC-Campinas) e os masculinos (grupo II) G8 (Mercker 86-México) e G9 (Taiwan A-144) apresentaram estimativas negativas dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), com valores de -0,2640; -0,1440; -0,1940; -0,5860 e -0,1260, respectivamente, diferenciando do que ocorreu nos cortes de avaliação das águas, em que todos os genitores apresentaram estimativas positivas dos efeitos de \hat{v}_i e \hat{v}_j .

Ao analisar a característica PMS, observam-se os genitores que se destacaram nos grupos I e II, para as estimativas dos efeitos de variedade \hat{v}_i e \hat{v}_j , foram o genitor feminino G2 (Cameroon – Piracicaba), com valor de 1,5112, e o genitor masculino G6 (Mercker), com valor de 2,7796. O genitor G2 foi também o que se destacou no grupo I, para as características LL (0,3880) e NP (6,4580), e o genitor G6, no grupo II, para a característica %MS (7,1880).

Tabela 39: Estimativas da média dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Genitores	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
G1	0,0940	-0,2640	0,2380	-5,5820	4,1560	0,8912
G2	0,1040	-0,1440	0,3880	6,4580	-3,3440	1,5112
G3	-0,1260	0,1160	0,0780	4,0180	0,6760	0,6612
G4	-0,0260	-0,1940	-0,9420	-10,9120	-4,4940	-3,4918
G5	-0,0460	0,4860	0,2380	6,0180	3,0060	0,4282
G6	0,3220	0,2240	0,5920	-6,7900	7,1880	2,7796
G7	-0,1680	0,2940	0,1320	8,6100	0,1380	1,0426
G8	-0,0780	-0,5860	-1,5780	-11,7300	-6,9620	-2,5474
G9	-0,0280	-0,1260	0,2520	18,3700	3,3380	1,1496
G10	-0,0480	0,1940	0,6020	-8,4600	-3,7020	-2,4244

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

4.4.3. Efeitos de heterose média, varietal e específica

Os valores dos efeitos de heterose média (\bar{h}), varietal (h_i) e específica (\hat{s}_{ij}), no corte de avaliação da época das águas, encontram-se na Tabela 40.

Observa-se que, em relação ao efeito de \bar{h} , a ocorrência de valor (-0,0096) negativo apenas para a característica LL. O valor de \bar{h} negativo indica dominância bidirecional, com a ocorrência de heterose positiva e negativa (Assunção et al., 2010).

A heterose é o fenômeno natural, pela qual a descendência híbrida exibe características geneticamente melhoradas em relação aos seus genitores, e tem sido utilizada na agricultura para o desenvolvimento de cultivares com melhores desempenhos (Fu et al., 2014). O melhoramento do capim-elefante, para fins energéticos, está voltado para a melhoria da produção de biomassa. Essas melhorias podem ser alcançadas por meio da exploração de efeitos aditivos e não aditivos de genes nucleares (Bhandari et al., 2014).

No caso do melhoramento do capim-elefante para a produção de bioenergia, os genitores G4 (IAC-Campinas), G8 (Mercker 86-México) e G10 (Roxo) se destacaram pelas maiores magnitudes e positivas de heterose varietal \hat{h}_i em relação à característica PMS. Esses valores foram de 1,3321 para o genitor

feminino G4; de 2,1975 para o genitor G8; e de 1,1459 para o genitor G10. O genitor G4, além da característica PMS, apresentou também as características ALT, LL e %MS, com destacados valores de efeito \hat{h}_i de 0,1098; 0,3436 e 1,2554 respectivamente. Já o genitor G8 apresentou os maiores valores de efeito de h_i para as características ALT (0,2018) e NP (5,6960).

O híbrido H18, resultante do cruzamento IAC-Campinas x Mercker 86-México, foi o que obteve o maior efeito de heterose específica \hat{s}_{ij} para a característica PMS, com valor de 8,2670. Paralelamente, esse híbrido apresentou o maior efeito de \hat{s}_{ij} (0,5200) para a característica ALT. A heterose específica é importante na definição das melhores combinações híbridas, em programas de melhoramento, por isso, as maiores estimativas são esperadas entre os genitores divergentes e entre genes que mostram efeito de dominância (Pereira et al., 2008).

A combinação híbrida H25 (Guaçu IZ.2 x Roxo) apresentou o segundo maior valor de efeito de \hat{s}_{ij} para a característica PMS (6,5700), e o décimo para a característica NP (5,5350). Outra combinação híbrida que mostrou potencial para uso em programas de melhoramento, visando ao aumento da produção de biomassa em capim-elefante, foi a H15 (P241-Piracicaba x Roxo), visto que apresentou o terceiro valor de efeito de \hat{s}_{ij} para a característica PMS (6,4700), e o sétimo para NP (5,5350). Outras combinações que se destacaram quanto ao efeito de \hat{s}_{ij} para a característica PMS, com relação aos cortes das épocas das águas, foram as H1 (Cubano Pinda x Mercker), H8 (Cameroon-Piracicaba x Mercker 86-México), H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México) e H17 (IAC-Campinas x Três Rios), com valores de 4,9280; 5,7210; 5,4690; e 5,2940, respectivamente.

Tabela 40: Estimativas dos efeitos de heterose média (\bar{h}), varietal (h_i) e específica (\hat{s}_{ij}), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores e 25 combinações híbridas de capim-elefante nos cortes das águas (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Efeitos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
Heterose média (\bar{h})	0,0372	0,0176	-0,0096	2,1090	0,3756	2,7968
Heterose varietal (h_i)						
G1	-0,0532	-0,0686	-0,0934	-2,7220	0,0654	-1,0653
G2	-0,1072	-0,0166	-0,1724	3,4940	0,2414	0,6957
G3	0,0778	0,0094	0,1536	0,4540	-0,6776	0,3238
G4	0,1098	0,0424	0,3436	-6,0130	1,2554	1,3321
G5	-0,0272	0,0334	-0,2314	4,7870	-0,8846	-1,2865
G6	-0,0782	-0,0316	-0,1264	-5,3050	0,7054	-1,3942
G7	-0,0802	0,0414	0,0536	1,4100	-0,1156	-1,0206
G8	0,2018	0,0044	-0,0304	5,6960	-0,7216	2,1975
G9	-0,0892	0,0424	0,0556	-0,7370	0,1304	-0,9287
G10	0,0458	-0,0566	0,0476	-1,0640	0,0014	1,1459
Heterose específica (\hat{s}_{ij})						
H1	0,0150	-0,1250	-0,1350	-0,2500	1,3500	4,9280
H2	-0,4250	0,0700	0,1550	-10,6850	-0,3650	-5,3310
H3	0,2950	0,0050	-0,1350	3,0850	2,3350	5,4690
H4	0,0300	-0,0150	-0,2650	4,4200	2,2650	3,3190
H5	0,0050	-0,1900	-0,1350	0,3650	-3,3800	0,2730
H6	-0,2050	-0,0950	-0,2100	-0,9600	1,9000	2,0770
H7	-0,0650	0,0000	-0,2600	13,1850	0,1950	5,2410
H8	-0,0750	0,0450	-0,2000	12,7050	-0,5050	5,7210
H9	0,0200	0,1650	0,0000	-0,7900	-0,2650	-0,0030
H10	-0,0250	-0,1100	-0,2400	3,8750	1,7600	4,4290
H11	-0,1450	0,0850	-0,3500	-0,1350	-0,2450	-1,4570
H12	-0,1250	-0,0100	0,1000	8,3500	0,4000	3,0830
H13	0,2350	0,0550	0,3400	12,7000	-1,9700	5,2070
H14	0,0200	0,0450	0,3400	7,8650	-0,5100	2,9900
H15	0,0650	-0,0400	0,2900	5,7000	0,8150	5,7810
H16	0,0700	0,0300	0,2000	-10,6650	1,6200	1,5440
H17	0,3000	0,1050	0,4100	0,2300	1,5550	5,2940
H18	0,5200	-0,0300	0,3000	5,3300	0,2550	8,2670
H19	-0,1950	0,0900	0,4200	-4,1650	1,7250	2,7800
H20	0,0400	0,1050	0,3400	-10,2500	3,0000	2,7620
H21	0,0600	0,0350	-0,1850	-3,9700	0,7800	-0,0780
H22	0,1000	0,1300	-0,1850	6,5150	0,4850	0,5950
H23	0,2200	0,0350	-0,5050	5,2050	-1,8450	0,3090
H24	-0,1350	0,01500	-0,2650	-0,4700	-0,6850	0,2560
H25	0,3300	0,0400	-0,0650	5,5350	-0,3100	6,4700

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

Em relação ao corte de avaliação que corresponde ao período de crescimento da época da seca, observa-se que não houve efeito de heterose média (\bar{h}) com valores negativos (Tabela 41).

Assim como nos cortes de avaliações das épocas de crescimento das águas, os genitores que se destacaram com efeitos de heterose varietal \hat{h}_i de alta magnitude e positivos, para a característica PMS, foram o G4 (IAC-Campinas), com valor de 1,8993; o G8 (Mercker 86-México), com valor de 1,8859; e o G10 (Roxo), com valor de 1,3424. O genitor G4, além do maior efeito de \hat{h}_i para PMS, apresentou o terceiro maior efeito de \hat{h}_i para a característica NP (3,8834). O genitor G8 também apresentou valores de mais alta magnitude e positivos de \hat{h}_i para as características DC (0,1810), LL (0,7078), NP (6,3166) e %MS (6,4354) (Tabela 37). Valores positivos para a \hat{h}_i indicam que os efeitos de dominância têm alta influência na performance dessa característica (Vieira et al., 2009).

Segundo Bernini e Paterniani (2012), os híbridos mais produtivos têm heteroses específicas positivas e altas, enquanto os menos produtivos apresentam heteroses específicas negativas e altas. A maior produção de matéria seca é o objetivo do melhoramento do capim-elefante para fins energéticos. Neste sentido, no presente estudo, foram selecionadas, no corte de avaliação da época da seca, as combinações híbridas H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H17 (IAC-Campinas x Três Rios) e H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México), por apresentarem valores de efeito de heterose específica (\hat{s}_{ij}) de maiores magnitudes e positivos de 6,2810; 5,4600 e 4,7680, respectivamente. Essas combinações híbridas também apresentaram destacados valores e positivos para o efeito de \hat{s}_{ij} , para a característica NP, sendo de 15,8800 para H8, 10,2650 para H17, e de 18,5050 para H18 (Tabela 37). Observa-se que os híbridos H8, H17 e H18 obtiveram destacados efeitos de \hat{s}_{ij} para a característica PMS também nos cortes de avaliação da época das águas (Tabela 36). Com isso, pode-se dizer que essas combinações híbridas apresentam potenciais para a melhoria da produção de biomassa em capim-elefante tanto em períodos de menor quanto de maior disponibilidade de água.

Tabela 41: Estimativas dos efeitos de heterose média (\bar{h}), varietal (\hat{h}_i) e específica (\hat{s}_{ij}), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para as seis características avaliadas em dez genitores e 25 combinações híbridas de capim-elefante no corte da seca (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013).

Efeitos	Características ^{1/}					
	ALT	DC	LL	NP	%MS	PMS
Heterose média (\bar{h})	0,1152	0,1670	0,2012	3,9624	0,5796	1,1571
Heterose varietal (\hat{h}_i)						
G1	-0,0922	0,0500	-0,1422	-4,8174	2,3756	-1,2739
G2	0,0028	0,1420	-0,1752	4,5556	2,2704	0,7100
G3	0,0618	-0,1560	0,1898	3,0826	0,1576	-0,4169
G4	0,0218	0,0650	-0,0562	-1,2614	3,8834	1,8993
G5	0,0058	-0,1010	0,1838	-1,5594	3,6206	-0,9184
G6	-0,0802	-0,1240	-0,3232	2,2816	2,9836	-1,9033
G7	0,0228	-0,1150	-0,3072	-6,6314	1,9066	-0,2444
G8	-0,0382	0,1810	0,7078	6,3166	6,4354	1,8859
G9	0,0888	0,0710	0,0558	-0,4734	4,3146	-1,0805
G10	0,0068	-0,0130	-0,1332	-1,4934	2,7694	1,3424
Heterose específica (\hat{s}_{ij})						
H1	0,0000	0,0650	-0,2050	5,6000	-2,4600	-1,6130
H2	-0,2550	0,0200	0,0650	-10,5300	3,2680	-3,0890
H3	0,1100	0,6600	0,7400	9,8400	-4,3340	0,9110
H4	0,0750	0,1600	-0,2750	6,5900	0,5860	0,5020
H5	0,1850	0,1800	-0,0300	2,0050	2,9420	2,7050
H6	0,0450	0,2150	-0,2400	-1,9900	1,0540	-1,3600
H7	0,4400	0,3400	-0,3300	4,1100	-0,0980	3,5760
H8	0,0750	0,5200	0,6950	15,8800	2,1200	6,2810
H9	-0,1500	0,2300	0,2800	-8,1000	-4,5600	-2,3420
H10	0,1800	0,2400	-0,2750	2,1150	1,4860	3,1820
H11	0,1100	-0,0050	-0,0350	4,6700	-0,5580	-1,5950
H12	0,2850	-0,300	-0,6450	9,2700	-0,3900	0,3670
H13	0,2600	0,3800	2,2100	9,2000	3,0580	3,0690
H14	-0,0150	0,0000	0,2050	-0,0800	1,7780	0,5370
H15	0,2450	-0,0200	0,2200	12,1650	-3,8860	1,3240
H16	0,0900	0,0100	0,1050	3,0350	-1,3640	-0,3020
H17	0,2550	0,3050	0,4350	10,2650	-1,1760	5,4600
H18	-0,0900	0,1650	0,8000	18,5050	-0,0580	4,7680
H19	0,1950	0,5850	0,3650	5,4550	-0,7880	2,2400
H20	0,1550	0,0950	0,2200	5,3300	3,3880	3,1170
H21	-0,0700	-0,0700	-0,2350	1,0300	3,3300	1,1390
H22	-0,0350	-0,1050	-0,0550	4,3300	-1,6020	-1,7500
H23	0,0300	0,0150	0,1000	-2,0300	-0,7840	0,1880
H24	0,5050	0,2150	-0,2350	-17,2100	2,9860	-0,5540
H25	0,2550	0,2750	1,1500	9,6050	-4,2000	2,1710

^{1/}ALT – altura da planta; DC – diâmetro do colmo; LL – largura da lâmina foliar; NP – número de perfilhos por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca.

4.4.4. Análise dos efeitos de heterose para produção de matéria seca total

Em relação à produção de massa seca total (PMST), observou-se que ocorreram diferenças entre genitores do grupo II, quanto à contribuição de alelos favoráveis para o desempenho dos híbridos, devido à presença de significância ($P < 0,05$) pelo teste F para o grupo II (genitores masculinos). A heterose média ($P < 0,01$), varietal do grupo II ($P < 0,05$) e específica ($P < 0,01$) foram significativas pelo teste F. Segundo Kvitschal et al. (2004), a significância para a heterose média indica que há diversidade suficiente entre genitores, o que favorável à aplicação do melhoramento genético visando à obtenção de híbridos de capim-elefante para fins energéticos (Tabela 42).

Tabela 42: Resumo da análise de variância da produção de matéria seca total em cruzamentos dialélicos parciais entre dez genótipos de capim-elefante dos três cortes de avaliação, de acordo com a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984) (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Fonte de variação	Grau de liberdade	PMST
Genótipos	34	162,4579**
Entre grupos	1	32,6918 ^{ns}
Grupo I	4	122,5286 ^{ns}
Grupo II	4	146,6131*
Heterose	25	176,572**
H. Média	1	977,2247**
H. Varietal (I)	4	81,7346 ^{ns}
H. Varietal (II)	4	147,6673*
H. Específica	16	157,4673**
Resíduo	68	57,7377

^{1/}PMST – produção de matéria seca total, em t.ha⁻¹.

Ao observar os efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j) para a PMST, pode-se verificar que os genitores G1 (Cubano Pinda) e G6 (Mercker) apresentaram os maiores valores positivos dentro de cada grupo (femininos e masculinos). Esses resultados indicam que tais genótipos possuem bom comportamento *per se* e podem ser selecionados para compor a população-base de cruzamentos em programas de melhoramento genético da cultura do capim-elefante visando à melhoria na produção de biomassa (Tabela 43).

Tabela 43: Estimativas da média dos efeitos de variedade (\hat{v}_i e \hat{v}_j), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para a produção de matéria seca total em dez genitores de capim-elefante dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Genitores	PMST ^{1/}	Genitores	PMST ^{1/}
G1	5,0300	G6	10,0652
G2	3,0400	G7	-0,7048
G3	-4,3500	G8	-4,9748
G4	-3,0000	G9	6,0592
G5	-0,7200	G10	-10,4448

^{1/}PMST – produção de matéria seca total, em t.ha⁻¹.

Verificam-se, no caso da heterose específica (\hat{s}_{ij}), segundo a metodologia de Gardner e Eberhart (1966), para a característica PMST, as combinações híbridas que se destacaram: H1 (Cubano Pinda x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H17(IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo) (Tabela 44). Isso indica a forte influência de efeitos de dominância na expressão do caráter PMST e que é desejável a exploração de híbridos de capim-elefante para a produção de biomassa energética, ou seja, houve a produção de híbridos com desempenho produtivo superior ao da média de seus genitores. Esses resultados também indicam que houve diversidade entre os genitores utilizados e a presença de algum grau de dominância, porque a heterose é função do quadrado das diferenças de frequências gênicas entre os genitores e do grau de dominância (Scapim et al., 2002).

Tabela 44: Estimativas dos efeitos de heterose média (\bar{h}), varietal (\hat{h}_i) e específica (\hat{s}_{ij}), segundo metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada por Miranda Filho e Geraldi (1984), para a produção de matéria seca total em dez genitores e 25 combinações híbridas de capim-elefante dos três cortes de avaliação (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

^{1/}PMST – produção de matéria seca total, em t.ha⁻¹.

Efeitos	PMST ^{1/}
Heterose média (\bar{h})	6,75306
G1	-3,40516
G2	2,10164
G3	0,23004
G4	4,56164
G5	-3,48816
G6	-4,69536
G7	-2,28236
G8	6,28424
G9	-2,94056
G10	3,63404
Heterose específica (\hat{s}_{ij})	
H1	8,2455
H2	-13,7495
H3	11,8485
H4	7,1445
H5	3,2505
H6	2,7905
H7	14,0655
H8	17,7265
H9	-2,3505
H10	12,0415
H11	-4,5115
H12	6,5405
H13	13,4885
H14	6,5115
H15	12,8865
H16	2,7805
H17	16,0515
H18	21,3065
H19	7,7935
H20	8,6415
H21	0,9835
H22	-0,5545
H23	0,8165
H25	15,1155

5. CONCLUSÃO

1. De acordo com a avaliação *per se* dos genótipos, deve-se selecionar os híbridos H1 (Cubano Pinda x Mercker), H3 (Cubano Pinda x Mercker 86-México), H4 (Cubano Pinda x Taiwan A-144), H6 (Cameroon – Piracicaba x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H10 (Cameroon – Piracicaba x Roxo), H13 (P241-Piracicaba x Mercker 86-México), H14 (P241-Piracicaba x Taiwan A-144), H15 (P241-Piracicaba x Roxo), H16 (IAC-Campinas x Mercker), H17 (IAC-Campinas x Três Rios) e H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México), H19 (IAC-Campinas x Taiwan A-144), H21 (Guaçu/IZ.2 x Mercker), H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo), quando o objetivo for obter maiores produções de biomassa tanto na época das águas quanto na seca.

2. Foi detectada a presença de efeitos gênicos não aditivos envolvidos no controle da maioria das características avaliadas. Visando à obtenção de ganhos genéticos para a produção de biomassa energética, recomenda-se a seleção das combinações H1, H7, H8, H17, H18 e H25. Esses materiais devem servir como base em programas de melhoramento da cultura do capim-elefante, entretanto, devido à sua heterogeneidade e ao fato de a maioria das cultivares dessa espécie serem clones, deve-se procurar avaliar clones superiores dentro dessas combinações híbridas por meio da seleção entre e dentro de famílias.

3. Em relação aos efeitos de heterose avaliados pela metodologia de Gardner e Eberhart (1966) adaptada a dialelos parciais, foi detectada heterose significativa na maioria das características nos cortes de avaliação da época das águas e da seca. Segundo essa mesma metodologia, as combinações híbridas, H1 (Cubano Pinda x Mercker), H7 (Cameroon – Piracicaba x Três Rios), H8 (Cameroon – Piracicaba x Mercker 86-México), H17(IAC-Campinas x Três Rios), H18 (IAC-Campinas x Mercker 86-México) e H25 (Guaçu/IZ.2 x Roxo), apresentaram potencial para uso em programas de melhoramento que visem à produção de clones com alta capacidade de produção de biomassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcântara, P. B.; Bufarah, G. (1983) *Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas*. São Paulo, Editora Nobel, 2. Ed. 150p.
- Almeida, D. L.; Santos, G. A.; DePolli, H.; Cunha, L. H.; Freire, L. R.; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Pereira, N. N. C.; Eira, P. A.; Blaise, R. M.; Salek, R. C. (1988) *Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro*. Itaguaí: Editora Universidade Rural. 179p.
- Assunção, A.; Brasil, E. M.; Oliveira, J. P.; Reis, A. J. S.; Pereira, A. F.; Bueno, L. G.; Ramos, M. R. (2010) Heterosis performance in industrial and yield components of sweet corn. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 10:183-190.
- 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, 139p.

- Barbosa, S.; Davide, L. C.; Pereira, A. V.; ABREU, J. C. (2007) Duplicação cromossômica de híbridos triploides de capim-elefante e milheto. *Bragantia*, 66(3):365–372.
- Bernini, C. S.; Paterniani, M. E. A. G. Z. (2012) Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F₂ de milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(1):56-62.
- Bhandari, H. S.; Webb, S. L.; Bouton, J. H.; Saha, M. C. (2014) Reciprocal Effects for Biomass Yield in Lowland Switchgrass. *Crop Science*, 54(3):955-962.
- Borem, A.; Milach, S. C. K. (1999) *Melhoramento de plantas. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, 2(7):68-72.
- Cameiro, M. S. S.; Souza, P. Z.; Peixoto, M. J. A.; Sales, R. O.; Feitosa, J. V. (2006) Efeito do consórcio de capim-elefante com leucena na produção de forragem. *Revista Caatinga*, 19(1):51-55.
- Cavalcante, M.; Lira, M. A. (2010) Variabilidade genética em *Pennisetum purpureum* Schumacher. *Revista Caatinga*, 23(2):153-163.
- Cavalcante, M.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Santoro, K. R.; Ferreira, R.L.C.; Leão Neto, J. M. C. (2013) Potencial produtivo de *Pennisetum* spp. sob níveis de nitrogênio na zona da mata de Pernambuco. *Archivos de Zootecnia*, 62(240):501-512.
- Comstock, R. E.; Robinson, H. F. (1948) The components of genetic variance in populations. *Biometrics*, 4:254-266.
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J.; Cameiro, P. C. S. (2012) *Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 514p.
- Cruz, C. D.; Venconsky, R. (1989) Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *Revista Brasileira de Genética*, 12(2):425-436.

- Cruz, C. D. (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 35(3):271-276.
- Cunha, M. V.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Freitas, E. V.; Dubeux Junior, J. C. B.; Mello, A. C. L.; Martins, K. G. R. (2011) *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(3):482-488.
- Daher, R. F.; Pereira, M. G.; Pereira, A. V.; Amaral Júnior, A. T. (2002) Genetic divergence among elephantgrass assessed by RAPD markers in composit samples. *Scientia Agricola*, 59(4):623-627.
- 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.
- Dallastra, A.; Unêda-Trevisoli, S. H.; Ferraudo, A. S.; Di Mauro, A. O. (2014) Multivariate approach in the selection of superior soybean progeny which carry the RR gene. *Revista Ciência Agronômica*, 45(3):588-597.
- Deresz, F. (1999) *Utilização do capim-elefante sob pastejo rotativo para produção de leite e carne*. Juiz de Fora, EMBRAPA-CNPGL. 29p. (Circular Técnica 54).
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006) *Sistema brasileiro de classificação de solos*, Rio de Janeiro: EMBRAPA. 412p.
- Falconer, D. S. (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Imprensa Universitária. 279p.
- Falconer, D. S.; Mackay, T. F. C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Edinburgh: Longman. 462p.
- Faleiro, F. G.; Fernandes, F. D.; Martha Júnior, R. G. B.; Ramos, A. K. B.; Bellon, G.; Karia, C. T.; Andrade, R. P.; Oliveira, S. D.; Lédo, F. J. S.; Pereira, A. P. (2005) Variabilidade genética de uma coleção de trabalho de capim-elefante *Pennisetum purpureum* com

base em marcadores RAPD. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 42, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia.

Faria, A. P.; Moda-Cirino, V.; Buratto, J. S.; Silva, C. F. B.; Destro, D. (2009) Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(4):579-585.

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

Ferreira, J. M.; Moreira, R. M. P.; Hidalgo, J. A. F. (2009) Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. *Ciência Rural*, 39(2):332-339.

Ferreira, G. D. G.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Melo A. C. L.; Almeida, O. C.; Ribeiro, C. R.; Oliveira, R. L.; Palmieri, A. D. (2013) Quantitative and qualitative characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) clones in the semi-arid lands of Pernambuco (Brazil). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26:15-23.

Flores, R. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Collier, L. S.; Boddey, R. M. (2012) Yield and quality of elephant grass biomass produced in the Cerrados region for bioenergy. *Engenharia Agrícola*, 32(5):831-839.

Flores, R. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Collier, L. S.; Zanetti, J. B.; Prado, R. M. Nitrogênio e idade de corte na qualidade de biomassa de capim-elefante para fins agroenergéticos cultivado em Latossolo. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(1):127-136.

Freitas, E. V. (2008) *Caracterização de pastos, consumo e desempenho de vacas em pastagens de Pennisetum sp.* Tese (Doutorado em Zootecnia), Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 88p.

- Freitas Júnior, S. P.; Amaral Júnior, A. T.; Pereira, M. G.; Cruz, C. D.; Scapim, C. A. (2006) Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(11):1599-1607.
- Fu, D.; Xiao, M.; Hayward, A.; Fu, Y.; Liu, G.; Jiang, G.; Zhang, H. (2014) Utilization of crop heterosis: a review. *Euphytica*, 197(2):161-173.
- Fuente, G. N. D. L.; Frei, U. K.; Lübberstedt, T. (2013) Accelerating plant breeding. *Trends in Plant Science*, 18(12):667-672.
- Fujita, D.; Trijatmiko, K. R.; Tagle, A. G.; Sapasap, M. V; Koide, Y.; Tsakirpaloglou, N.; Gannaban, R. B.; Nishimura, T.; Yanagihara, S.; Fukuta, Y.; Koshiba, T.; Slamet-Loedin, I. H.; Ishimaru, T.; Kobayashi, N. (2013) NAL1 allele from a rice landrace greALTy increases yield in modern indica cultivars. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 110(51):20431-20436.
- Gardner, C. O.; Eberhart, S. A. (1966) Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, 22(3):439-452.
- Geraldi, I. O.; Miranda Filho, J. B. (1988) Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. *Brazilian Journal of Genetics*, 11:419-430.
- Gomes, F. J. B.; Colodette, J. L.; Burnet, A.; Batalha, L. A. R.; Barbosa, B. M. (2013) Potential of elephant grass for pulp production. *Bioresources*, 8(3):4359-4379.
- Gonçalves, L. S. A.; Freitas Júnior, S. P.; Amaral Júnior, A. T.; Scapim, C. A.; Rodrigues, R.; Marinho, C. D.; Pagliosa, E. S. (2014) Estimating combining ability in popcorn lines using multivariate analysis. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1):10-15.

- Griffing B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9(4):463–493.
- Hanna, W. W. (1999) Melhoramento do capim-elefante. In: Passos, L. P.; Carvalho, L. A.; Martins, C. E.; Pereira, A. V. (Ed.). eds. *Biologia e Manejo do Capim-Elefante*. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, p. 19-27.
- Ibrahim, N.; Kamarudin, S. K.; Minggu, L. J. (2014) Biofuel from biomass via photo-electrochemical reactions: An overview. *Journal of Power Sources*, 259(1):33–42.
- Kempthorne, O; Curnow, R. N. (1961) The partial diallel cross. *Biometrics*, 17:229-250.
- 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, E. S.; Silva, J. F. C.; Vásquez, H. M.; Araújo, S. A. C.; Lista, F. N.; Carneiro, R. F. V.; Rocha, T. C.; Ruivo, S. C.; Deminicis, B. B.; Costa, D. P. B. (2008) Composição e digestibilidade “in vitro” de genótipos de capim elefante, aos 56 dias de rebrota. *PUBVET*, 2(13):1-15.
- Lima, R. S. N.; Daher, R. F.; Gonçalves, L. S. A.; Rossi, D. A.; Amaral Júnior, A. T.; Pereira, M. G.; Lédo, F. J. S. (2011) RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genetics and Molecular Research*, 10(3):1304-1313.
- Liu, C. H. (2014) Approximate trade-off between minimisation of total weighted tardiness and minimisation of carbon dioxide (CO₂) emissions in bi-criteria batch scheduling problem. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(8):759-771.

- Lucius, A. S. F.; Oliveira, R. A.; Daros, E.; Zambon, J. L. C.; Bepalhok Filho, J. C.; Verissimo, M. A. A. (2014) Desempenho de famílias de cana-de-açúcar em diferentes fases no melhoramento genético via REML/BLUP. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1):101-112.
- Maciel, G. M.; Maluf, W. R.; Silva, V. F.; Gonçalves Neto, A. C.; Nogueira, D. W.; Gomes, L. A. A. (2010) Heterose e capacidade combinatória de linhagens de tomateiro ricas em acilaçúcares. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(5):1161-1167.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/registro/registro-nacional-cultivares> em 22/07/2014 página mantida pelo Governo Federal.
- Martel, E.; Richroch, A.; Sarr, A. (1996) Assessment of genome organization among diploid species ($2n = 2x = 14$) belonging to primary and tertiary gene pools of pearl millet using fluorescent *in situ* hybridization with rDNA probes. *Genome*, 39(4):680-687.
- Mello, A. C. L.; Lira, M. A.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Freitas, E. V. (2002) Caracterização e seleção de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) na Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(1):30-42.
- Mello, A. C. L.; Lira, M. A.; Dubeux Júnior, J. C. B. (2006) Degradação ruminal da matéria seca de clones de capim-elefante em função da relação folha/colmo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(4):1316-1322.
- Miranda Filho, J. B., Geraldi, I. O. (1984) An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. *Revista Brasileira de Genética*, 14(3):677-688.
- Medeiros, A. M.; Rodrigues, R.; Gonçalves, L. S. A.; Pombo, S. C.; Oliveira, H. S.; Santos, M. H. (2014) Gene effect and heterosis in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. *Ciência Rural*, 44(6):1031-1036.

- Morais, R. F.; Souza, B. J.; Leite, J. M.; Soares, L. H. B.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. (2009) Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(2):133-140.
- Morais, R. F.; Quesada, D. M.; Reis, V. M.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. (2011) Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Plant and Soil*, 349:1-12.
- Nascimento Junior, D. (1981) *Informações sobre plantas forrageiras*. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária. 56p.
- Nascimento, I. R.; Maluf, W. R.; Gonçalves, L. D.; Faria, M. V.; Resende, J. T. V.; Nogueira, D. W. (2010) Capacidade combinatória de linhagens de pimentão a partir de análise dialéctica multivariada. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32(2):235-240.
- Oliveira, A. V. (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 – UENF, 139p.
- Oliveira, M. L. F.; Daher, R. F.; Gravina, G. A.; Silva, V. B.; Viana, A. P.; Rodrigues, E. V.; Shimoya, A.; Amaral Júnior, A. T.; Menezes, B. R. S.; Rocha, A. S. (2014) Pre-breeding of elephant grass for energy purposes and biomass analysis in Campos dos Goytacazes- RJ, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 9(36):2743-2758.
- Pereira, A. V. (1992) Escolha de variedades de capim elefante. In: Peixoto, A. M.; Moura, J. C.; Faria, V. P. (ed.). *Anais do Simpósio sobre manejo de pastagem*, 10, Piracicaba. p. 45-62.

- 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. p.1-11.
- 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, I. M. C. *Recursos genéticos e melhoramento*. Rondonópolis, p. 549–602.
- Pereira, A. V.; Daher, R. F.; Pereira, M. G.; Lédo, F. J. S.; Souza Sobrinho, F.; Amaral Junior, A. T.; Freitas, V. P.; Pereira, T. N. S.; Ferreira, C. F. (2006) 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, J. A.; Morais, O. P.; Breseghello, F. (2008) Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz-vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(9):1135-1142.
- Pfann, A. Z.; Faria, M. V.; Andrade, A. A.; Nascimento, I. R.; Faria, C. M. D. R.; Bringhenti, R. M. (2009) Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. *Ciência Rural*, 39(3):635-641.
- Pimentel, A. J. B.; Souza, M. A.; Carneiro, P. C. S.; Rocha, J. R. A. S. C.; Machado, J. C.; Ribeiro, G. (2013) Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(12):1555-1561.
- Price, D. L.; Casler, M. D. (2014) Predictive relationships between plant morphological traits and biomass yield in switchgrass. *Crop Science*, 54(2):2637-645.

- Quéno, L. M. R.; Souza, Á. N.; Ângelo, H.; Vale, A. T.; Martins, I. S. (2011) Produção das biomassas de eucalipto. Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. *Cerne*, 17(3):417-426.
- Quesada, D. M. (2005) *Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de diferentes genótipos capim elefante para produção de agroenergéticos*. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 65p.
- Resck, D. V. S.; Ferreira, E. A. B.; Figueiredo, C. C.; Zinn, Y. L. (2008) Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais*, 2., Porto Alegre, p. 359-406.
- Rocha, E. P.; Souza, D. F.; Damasceno, S. M. (2009) Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. In: *Anais ... VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*, Uberlândia.
- 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.
- Rossi, D. A.; Menezes, B. R. S.; Daher, R. F.; Gravina, G. A.; Lima, R. S. N.; Léo, F. J. S.; Gottardo, R. D.; Campostrini, E.; Souza, C. L. M. (2014) Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 13(36):3666-3671.
- 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. M.; Sokhansanj, S.; Quesada, D. M.; Urquiaga, S.; Reis, V.; Lem, C. H. (2005) The potential of C₄ perennial grasses for developing a global bioheat industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:461-495.
- Santos, F. A. P. (1995) Manejo de pastagem de capim-elefante. In: Peixoto, A. M.; Moura, J. C.; Faria, V. P. (Eds). *Volumoso para bovinos*. 2.ed. Piracicaba: FEALQ. p. 1-20.
- Scapim, C. A.; Pacheco, C. A. P.; Tonet, A.; Braccini, A. D. L.; Pinto, R. J. B. (2002) Análise dialélica e heterose de populações de milho-pipoca. *Bragantia* 61(3):219:230.
- Schemer, M. R.; Vogel, K. P.; Mitchell, R. B.; Perrin, R. K. (2008) Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. *PNAS*, 105(2):464-469.
- Schneider, L. S. A. (2013) *Avaliação morfoagronômica, adaptabilidade e estabilidade da produção de forrageira de capim-elefante*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 72p.
- Seye, O. (2003) *Análise de Ciclo de Vida Aplicada ao Processo Produtivo de Cerâmica Estrutural tendo como Insumo Energético Capim Elefante (Pennisetum Purpureum Schaum.)*. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 147p.
- Sibiya, J.; Tongoona, P.; Derera, J.; Rij, N. V.; Makanda I. (2011) Combining ability analysis for Phaeosphaeria leaf spot resistance and grain yield in tropical advanced maize inbred lines. *Field Crops Research*, 120(1):86-93.
- 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) Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes. 110p.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C. (2002) *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa. 235p.
- Silva, M. A. (2008) Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano. *Bragantia*, 67(1):109-117.
- Silva, M. A.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B.; Cunha, M. V.; Freitas, E. V. (2008) Análise de trilha em caracteres produtivos de Pennisetum sob corte em Itambé, Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(7):1185-1191.
- 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 Zootecnia*, 39(10):2132-2140.
- Silva, V. Q. R.; Amaral Júnior, A. T.; Gonçalves, L. S. A.; Freitas Júnior, S. P.; Ribeiro, R. M. (2011) Heterotic parameterizations of crosses between tropical and temperate lines of popcorn. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(2):243-249.
- Silva, G. O.; Ney, V. G.; Pereira, L. R. T.; Silva, A.; Suinaga, F. A. (2013) Capacidade de combinação de genitores de batata para caracteres de aparência e rendimento de tubérculos. *Revista Ceres*, 60(4):489-497.
- Sousa, L. B. (2013) *Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa e estudo da capacidade combinatória em capim-elefante para fins energéticos em Campos dos Goytacazes – RJ*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 83p

- Souza Sobrinho F.; Pereira A. V.; Ledo, F. J. S.; Botrel, M. A.; Oliveira, J. S.; Xavier, D. F. (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 Society Agronomy*, 34:923-932.
- Steel, R. G. D.; Torrie, J. H. (1980) *Principles and procedures of statistics*. 2nd ed. McGraw Hill, New York. 633 p.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (1998) *Plant physiology*, 2ed, Sunderland: Sinauer. 792p.
- Teixeira Vitor, C. M.; 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 Zootecnia*, 38(3):435-442.
- Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. (2006) *Capim elefante: Uma Fonte Alternativa Promissora para a Produção de Energia*. 2006. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Capimelefante/. Acesso em: 16/07/2014.
- Vencovsky, R. (1970) *Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades*. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 59p.
- Viana, J. M. S. (2000) The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis. *Genetics Molecular Biology*, 23(4):877-881.
- Viana, J. M. S. (2007) Heterosis and combining ability analyses from The partial diallel. *Bragantia*, 66(1):641-647.

- Vieira, R. A.; Souza Neto, I. L.; Bignotto, L. S.; Cruz, C. D.; Amaral Júnior, A. T.; Scapim, C. A. (2009) Heterotic parametrization for economically important traits in popcorn. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(3):411-419.
- Vivas, M.; Silveira, S. F.; Cardoso, D. L.; Pereira, M. G.; Vivas, J. M. S.; Ferregueti, G. A. (2012) Capacidade combinatória em mamoeiro para resistência a oídio. *Bragantia*, 71(4):455-459.
- Zhang, X.; Gu, H.; Ding, C.; Zhong, X.; Zang, J.; Xu, N. (2010) Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum*. *Tropical Grassland*, 44:95-102.
- Zhao, Y. S.; Zeng, J.; Fernando, R.; Reif, J. C. (2013) Genomic prediction of hybrid wheat performance. *Crop Science*, 53(3):802-810.
- Zimmermann, F. J. P. (2004) *Estatística aplicada à pesquisa agrícola*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e Feijão. 402 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos dois cortes das águas e das três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	ALT	DC	LL
Bloco	0,1122	0,0934	1,5469
Genótipo (G)	0,1725**	0,0474**	0,5484**
Erro a	0,0569	0,0246	0,1114
Corte (C)	0,5300 ^{ns}	0,4473 ^{ns}	39,4069**
Erro b	0,1483	0,0801	0,3062
Interação (GxC)	0,0552 ^{ns}	0,0327 ^{ns}	0,0865 ^{ns}
Erro c	0,0394	0,0209	0,1015
Média	2,21	1,472269	3,93
CVa (%)	10,81	10,6451	8,48
CVb (%)	17,44	19,2257	14,07
CVc (%)	8,99	9,8174	8,10

^{1/}ALT – altura da planta, em m; DC – diâmetro do colmo, em cm; LL – largura da lâmina foliar, em cm; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

APÊNDICE B: Estimativas dos quadrados médios, das médias e coeficiente de variação da análise conjunta dos dois cortes das águas e das três características morfoagronômicas avaliadas em genótipos de capim-elefante (Campos dos Goytacazes, RJ, 2013/2014).

Quadrado médio	Características ^{1/}		
	NP	%MS	PMS
Bloco	11,7487	13,4188	8,9100
Genótipo (G)	259,1663**	22,7325**	54,9644**
Erro a	69,0999	7,0828	21,9199
Corte (C)	282,2204*	56,9287 ^{ns}	1326,9988*
Erro b	14,3193	19,3934	18,9247
Interação (GxC)	94,7084**	7,7778 ^{ns}	25,6587 ^{ns}
Erro c	43,9743	6,6680	19,0541
Média	34	24,35	17,14
CVa (%)	24,52	10,93	27,31
CVb (%)	11,16	18,09	25,37
CVc (%)	19,56	10,60	25,46

^{1/}NP – número de perfis por metro linear; %MS – porcentagem de matéria seca; PMS – produção de matéria seca, em t.ha⁻¹; CV – coeficiente de variação. **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.