

AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA
BIOMASSA DE ACESSOS DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum
purpureum Schum.*) PARA FINS ENERGÉTICOS NO NORTE
FLUMINENSE

DRIELI APARECIDA ROSSI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2010

AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA
BIOMASSA DE ACESSOS DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum
purpureum Schum.*) PARA FINS ENERGÉTICOS NO NORTE
FLUMINENSE

DRIELI APARECIDA ROSSI

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

Orientador: Prof. Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES

FEVEREIRO – 2010

AVALIAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E DA QUALIDADE DA
BIOMASSA DE ACESSOS DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum
purpureum Schum.*) PARA FINS ENERGÉTICOS NO NORTE
FLUMINENSE

DRIELI APARECIDA ROSSI

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Apresentada em 10 de fevereiro de 2010.

Comissão examinadora:

Dr. Francisco José da Silva Léo – CNPGL - EMBRAPA

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

Eliemar Campostrini (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

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

*Dedico esta conquista aos meus amados pais Domingos e Maria José
e às minhas irmãs, amor, confiança e incentivo;
Ao meu namorado Emerson, companheiro e grande incentivador.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida e pelas incontáveis bênçãos durante todo este período;

Aos meus pais pelo carinho, confiança e incentivo para seguir esta jornada, minhas irmãs pela compreensão e simplesmente pelo fato de estarem sempre perto de mim e a todos os meus familiares, principalmente meus avós, Olinda, Ernesto, Paula e Natalino, pelas orações e boas energias enviadas, elas chegaram pode ter certeza;

Ao meu namorado Emerson, pela paciência, carinho e apoio quando tudo dava errado, e aos seus pais pela amizade e apoio;

Ao meu orientador, Rogério Figueiredo Daher pelos conhecimentos e experiências transmitidas;

Ao CNPq pela concessão da bolsa;

Aos professores Geraldo Gravina e José Fernando Coelho da Silva pela atenção e por estarem sempre dispostos a me ajudar e ao LZNA pela confiança depositada ao realizar as atividades de laboratório;

Aos grandes amigos Andréa, Tati, Roberta, Ronas, Lívia, Lú, que tanto me ouviram e ajudaram, e aos colegas de trabalho que ajudaram nas atividades de campo;

A UENF pela oportunidade de cursar minha inesquecível graduação e o mestrado e a todos que me ajudaram de maneira direta e indireta.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O capim-elefante.....	3
2.2. Banco de germoplasma e variabilidade genética.....	4
2.3. Biomassa como fonte de energia.....	5
2.4. Potencial energético do capim-elefante.....	9
2.5. Cultivares com elevado potencial energético.....	10
2.6. Características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa.....	11
2.7. Melhoramento genético do capim-elefante.....	13
2.8. Correlações Canônicas.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Localização e características da Região.....	18
3.2. Condições experimentais.....	19
3.3. Características avaliadas.....	22
3.3.1. Características morfoagronômicas.....	22
3.3.2. Características da qualidade da biomassa.....	22
3.4. Análises estatísticas.....	23
3.4.1. Análise de variância.....	23
3.5. Correlações Canônicas.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1. Análise de variância.....	28
4.2. Análise das médias.....	30
4.3. Correlações Fenotípicas e Canônicas.....	38
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

RESUMO

ROSSI, D. A.; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2010. Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no Norte Fluminense. Orientador: Professor Rogério Figueiredo Daher.

Nas últimas décadas a demanda energética tem se tornado um problema mundial, e a busca por fontes alternativas de energia é cada vez maior. Os objetivos do presente trabalho foram avaliar as características morfoagronômicas e de qualidade de biomassa de 52 genótipos de capim-elefante, correlacionar estas características por meio das correlações canônicas e indicar genótipos com elevada capacidade de produção de biomassa de alta qualidade, a fim de serem utilizados em programas de melhoramento genético para o Norte Fluminense. Encontraram-se diferenças significativas pelo teste F ($P < 0,05$) nas características massa seca (MS), número de perfilhos (NP), altura (Alt) e diâmetro médio do colmo (DM), porém não houve diferença significativa para nenhuma das características de qualidade de biomassa avaliadas (%FDA, %celulose, %lignina, % cinzas, teor de nitrogênio total (Ntot) e Poder calorífico (PC)), exceto para porcentagem de matéria seca (%MS). Mesmo apresentando efeito não significativo para o tratamento nas várias características estudadas, procedeu-se a análise das médias dos genótipos. Não houve diferença entre as médias para

as características Alt, % celulose, Ntot e PC. Para a análise de correlações canônicas, ficou evidenciado que, indivíduos mais produtivos e que produzem elevado número de perfilhos tendem a apresentar maiores teores de matéria seca, celulose e nitrogênio. Observou-se também que plantas que perfilham menos, com maior diâmetro e mais altas associaram-se a plantas com altos teores de matéria seca, componentes fibrosos e poder calorífico, porém com menores teores de nitrogênio. Os genótipos que se mostraram mais promissores para serem indicados e utilizados em programas de melhoramento genético para a produção de bioenergia foram: Napier, Guaçu I/Z.2, P-241-Piracicaba, Pasto Panamá, Cameroon e Mercker 86 - México.

Palavras-chave: *Pennisetum purpureum*, poder calorífico, fibras, correlações canônicas.

ABSTRACT

ROSSI, D. A.; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2010. Morphoagronomic evaluation and quality of biomass of 52 accessions of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) to energetic ends to North part of Rio de Janeiro State. Adviser: Professor Rogério Figueiredo Daher.

In recent decades energy demand has become a global problem and the search for alternative sources of energy is increasing. The objectives of this study were to evaluate the morphological characteristics and quality of biomass of 52 accessions of elephant grass, to correlate these characteristics by means of canonical correlations and indicate genotypes with high capacity for biomass production of high quality as firewood, to be used in breeding programs for the North part of Rio de Janeiro State. We found significant differences by the F test ($P < 0.05$) in variants percentage of dry matter (% DM), tiller number (NP), height (H) and stem diameter (DM), but no difference significant for all quality parameters measured biomass (% ADF, % cellulose, lignin%, % ash and calorific power). Even with no significant effect for different characteristics, we proceeded with the analysis of the means of genotypes. There was no difference between the means for height, % cellulose, total nitrogen content and calorific value. For the analysis of canonical correlations, it became evident that individuals more productive produce large number of tillers and tend to have higher levels of dry matter, cellulose, lignin and nitrogen. It was also observed that plants that less concur with greater diameter

and higher plants have been associated with high dry matter percentage, fiber components and calorific power, but with less nitrogen. The genotypes that were more promising to be indicated and used in breeding programs for the production of bioenergy were: Napier, Guaçu I/Z.2, P-241-Piracicaba, Pasto Panamá, Cameroon and Mercker 86 - México.

Key-words: *Pennisetum purpureum*, calorific power, fiber, canonic correlations.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a demanda energética tem se tornado um problema mundial, e a busca por fontes alternativas de energia é cada vez maior. As pesadas doses de CO₂ liberadas através da queima dos combustíveis fósseis têm gerado preocupações ambientais para comunidade científica e autoridades.

A energia gerada por meio da queima de biomassa vegetal tem sido uma alternativa bastante viável e que segue o modelo de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, alternativa essa proposta pelo Protocolo de Kyoto em 1997. Como a queima da biomassa recicla o CO₂ que foi retirado da atmosfera pela fotossíntese, em longo prazo, esta será uma das alternativas energéticas para contornar a crise ambiental e a dependência do petróleo que vive o planeta (Quesada, 2001).

No Brasil, grande parte da biomassa vegetal energética é produzida comercialmente como a lenha, que é transformada em carvão vegetal e é usada na siderurgia e em outros setores, e a cana-de-açúcar que é usada na produção de álcool combustível e energia produzida por meio da queima do bagaço.

Trabalhos estão sendo desenvolvidos para substituir a madeira na forma de lenha utilizada em olarias, por uma energia a partir da combustão direta da biomassa do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). O capim-elefante tem se destacado entre as forrageiras mais utilizadas nos sistemas intensivos de produção animal em pastagem (Cóser *et al.*, 2001). É uma gramínea tropical de

elevada eficiência fotossintética, ou seja, maior eficiência no aproveitamento da luz (metabolismo C4) e elevado potencial de produção de biomassa (Quesada, 2001).

Com isso uma nova vertente deve ser tomada em relação às características que se deseja obter da planta de capim-elefante para fins energéticos. O objetivo agora muda de sentido, antes se procurava um capim com altos teores de proteína para a alimentação animal, agora se procura uma planta com altos teores de celulose e lignina, aliada à alta produção de biomassa e elevado poder calorífico, para que a energia que se queira produzir deste material seja de boa qualidade para ser utilizada principalmente nas olarias, no caso da Região Norte Fluminense.

Comparado com outras espécies o melhoramento do capim-elefante é bastante recente. Pouco foi explorado do potencial do germoplasma da espécie, o que significa uma oportunidade de se obter avanços rápidos no melhoramento.

A obtenção de cultivares melhoradas poderá constituir-se em uma das mais importantes demandas dos produtores de capim-elefante para fins energéticos de todo o País. Torna-se importante a procura de variedades para produção de biomassa adaptada aos diferentes ecossistemas, com maior velocidade de crescimento, maior produtividade, melhor eficiência energética, maior eficiência na absorção de nutrientes, distribuição mais equitativa da produção de matéria seca durante o ano e resistente a pragas e doenças.

A seleção de genótipos de capim-elefante com maior produção de biomassa, e mais adaptados às condições edafoclimáticas do Norte Fluminense pode resultar em elevação na capacidade de produção de biomassa, principalmente na época da seca, diminuindo os efeitos da estacionalidade da produção.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as características morfoagronômicas e da qualidade de biomassa, estudar a relação entre as características por meio das correlações canônicas e selecionar genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção de biomassa energética para o Norte Fluminense, a fim de serem utilizados em programas de melhoramento genético.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O capim-elefante

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Paniceae, gênero *Pennisetum* e seção Penicillaria. A tribo Paniceae reúne os mais importantes gêneros de plantas forrageiras tropicais, como *Brachiaria*, *Panicum*, *Melinis*, *Setaria*, *Axonopus* e *Acroceras* e, baseadas em caracteres morfológicos, se encontram classificadas em 5 seções: *Pennisetum*, *Heterostachya*, *Brevivalvula*, *Gymnothrix* e *Penicillaria* (Brunken, 1977). É um dos mais representativos gêneros da família Poaceae que possui distribuição cosmopolita, incluindo cerca de 650 gêneros e 9000 espécies, sendo que no Brasil ocorrem cerca de 180 gêneros e 1500 espécies (Souza, 2005).

É nativo de regiões da África Tropical, com pluviosidade média superior a 1000 mm anuais. O capim-elefante foi identificado no início do século XX pelo Coronel Napier (Bennet, 1976), tendo como possível centro de diversidade desde a Guiné, à oeste, até Moçambique e sul do Quênia, ao leste, incluindo Angola e Rodésia (atual Zimbábwe), ao sul (Brunken, 1977).

O cultivo desta espécie dá-se, basicamente, por meio de propagação vegetativa, e realiza-se por pedaços de colmo (Otero, 1961). É uma gramínea tropical perene de grande importância forrageira, cujas características morfológicas apresentam ampla variabilidade. De forma resumida, a espécie pode

ser caracterizada como ereta, cespitosa, de porte elevado (mais de 5 m), apresentando folhas invaginantes, largas e compridas (30 a 120 cm), inflorescência tipo panícula e abundante lançamento de perfilhos aéreos e basais (Bogdan, 1977; Xavier *et al.*, 1995; Pereira *et al.*, 2001).

Existe pouca informação sobre o processo evolutivo e os centros de diversificação do capim-elefante. A espécie apresenta um número básico cromossômico $n = 7$, tendo evoluído como um híbrido interespecífico ($2n = 4x = 28$), com comportamento diplóide normal (Manara, 1973; Brunken 1977), porém com morfometria cromossômica e genômica variando de acordo com os níveis de ploidia de diplóide a octaplóide.

Por ser uma espécie de alta eficiência fotossintética, resulta em uma grande capacidade de acumulação de matéria seca, possuindo características quantitativas que credenciam a ser estudadas para a produção de energia, como por exemplo, um percentual de fibra elevado, semelhante à cana-de-açúcar (Quesada, 2001).

2.2. Banco de germoplasma e variabilidade genética

A primeira introdução de capim-elefante no Brasil foi realizada em 1920, sendo trazidas de Cuba estacas da cultivar Napier para o Estado de São Paulo (Granato, 1924). Posteriormente, diversos processos isolados de introdução foram realizados, o que veio enriquecer o germoplasma da espécie com outros ecótipos e com genótipos resultantes de programas de melhoramento. Não existem registros de expedições de coleta de germoplasma nos centros de diversidade e nem mesmo da introdução de coleções com ampla variabilidade genética (Pereira *et al.*, 2001).

Entre as principais cultivares introduzidas, cita-se a Napier, Cameroon, Roxo, Merker, Vrukwona, Taiwan A-143, Taiwan A-144, Taiwan A-146, Taiwan A-148, Merkeron, Porto Rico e Cubano. Entretanto, os processos de introdução não foram realizados de forma sistemática, ou com a preocupação de ampliar a base genética da espécie existente no País, mas sim com o objetivo de conseguir novas cultivares para o uso imediato. Como consequência, os bancos de germoplasma preservam poucos materiais oriundos de coletas nos centros de diversidade, sendo a maioria dos acessos resultante das recombinações entre as

principais variedades. Isto demonstra que são conservados muitos acessos e pouca variabilidade, havendo necessidade de um trabalho de coleta e introdução, visando à ampliação da variabilidade do germoplasma, para utilização nos programas de melhoramento (Pereira, 1999).

Pereira *et al.*, (2008) estimaram a variabilidade genética entre 30 acessos de capim-elefante por meio de marcadores moleculares empregando-se a técnica de RAPD. Os resultados indicaram que existe ampla variabilidade genética entre os acessos e que as estimativas de distancia genética podem ser utilizadas como critério auxiliar na seleção de genitores em programas de melhoramento desta espécie.

Segundo Pereira (1992), citado por Pereira *et al.* (2008), o Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante (BAGCE) do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (CNPGL) constitui-se em um dos mais completos do país, contendo aproximadamente 120 acessos desta espécie resultantes da introdução de materiais de diversas coleções brasileiras. Estes acessos já foram caracterizados quanto aos seus descritores botânico-agronômicos (Shimoya *et al.*, 2002), citogenéticos (Techio *et al.*, 2002) e isozimáticos (Daher *et al.*, 1997b) e à sua composição química (Carneiro *et al.*, 2002). Estimativas das relações de proximidade genética entre os acessos com base nesses descritores foram realizadas por Shimoya *et al.* (2002) e Daher *et al.* (1997a).

A variabilidade genética existente entre as cultivares de capim-elefante, condição primordial para a condução de um programa de melhoramento eficiente, ainda não é completamente conhecida. Existem inúmeros trabalhos que avaliam e relacionam as cultivares de capim-elefante pelo seu potencial produtivo (Mozzer *et al.*, 1970; Pedreira e Campos, 1975). Alcântara *et al.* (1980), utilizando 15 descritores, caracterizaram 25 introduções de capim-elefante e concluíram que, pela caracterização morfológica, a separação das introduções é extremamente difícil.

2.3. Biomassa como fonte de energia

No decorrer da história, o uso da biomassa tem variado consideravelmente sob a influência de dois fatores principais: a densidade demográfica e a disponibilidade de recursos (Mutanen, 1993). No Brasil, em 1995, os recursos da

biomassa respondiam com cerca de 28% da produção total de energia primária, superando inclusive toda a produção nacional de combustíveis fósseis (26,8%). O carvão vegetal brasileiro foi responsável por cerca de um terço da produção mundial deste energético (FAO, 1993), e os produtos da cana-de-açúcar (álcool anidro e bagaço) contribuíram com aproximadamente 13% da produção primária de energia do país.

Uma vez que a produção fotossintética anual de biomassa é cerca de oito vezes maior que a energia total usada no mundo (Mutanen, 1993), e que esta energia pode ser produzida e usada de forma ambientalmente sustentável, visto que no balanço energético não libera CO₂, não resta dúvida de que esta fonte potencial de energia armazenada deve ser cuidadosamente levada em consideração em qualquer discussão sobre o fornecimento de energia nos dias atuais e no futuro.

O Brasil possui todas as características climáticas necessárias para aumentar ainda mais sua produção comercial de biomassa energética, o que já ocorre com etanol, carvão vegetal e lenha, por meio de plantações. O desmatamento que ocorre na Amazônia tem sido causado, não pelo consumo energético da biomassa, mas sim pela abertura de áreas para pastos, exploração de madeiras nobres e valorização da terra. Embora a produção de carvão vegetal tenha destruído muitas florestas naturais, hoje, por exigência legal e pela exaustão de reservas, sua produção implica em aumento de florestas plantadas. Os programas de biomassa têm gerado um número superior a um milhão de empregos com investimento unitário inferior a outros setores da economia. Modernas tecnologias para uso de biomassa energética incluem co-geração de energia elétrica nos setores de papel, celulose, açúcar e álcool, produção de etanol e carvão vegetal de florestas plantadas (Quesada, 2005).

Além da geração de empregos o uso da biomassa também traz benefícios como: o melhor manejo da terra, o uso de áreas agrícolas excedentes nos países industrializados, o fornecimento de vetores energéticos modernos a comunidades rurais nos países em desenvolvimento, a redução dos níveis de emissão de CO₂, o controle de resíduos e a reciclagem de nutrientes (Olivares Gomez, 2002).

A partir das dificuldades que o uso da madeira com fins energéticos começou a apresentar no final dos anos 80, seja por questões ambientais, seja pela concorrência de usos mais nobres, como a produção de pasta celulósica,

mobiliário e uso na construção civil, alternativas à madeira, como a biomassa de capim-elefante passaram a ser observadas mais cuidadosamente.

A energia da biomassa nada mais é do que a energia solar armazenada através do metabolismo da planta pela fotossíntese (IPT, 1992). Isto significa que quanto maior for o crescimento da massa vegetal em um período curto de tempo, mais eficiente será o aproveitamento da energia solar pela planta. Nesse sentido, as gramíneas apresentam crescimento mais acelerado que outras fontes vegetais, como o eucalipto.

A cerâmica União é pioneira na utilização da biomassa de capim-elefante como fonte de energia na Região Norte Fluminense. Localizada em um parque cerâmico formado por 110 indústrias cerâmicas da Baixada Campista, é uma das maiores do Estado e já experimentou e aprovou a biomassa vegetal e quer substituir a lenha de eucalipto. O projeto está em andamento desde 2007 por pesquisas próprias e com apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e do Instituto de Pesquisas Agropecuárias (IPT) da Universidade de São Paulo (USP). Atualmente são 45 hectares de capim-elefante plantados em área próxima à cerâmica que garantem auto-suficiência para a sua produção e economia de 80%. A técnica utilizada pela cerâmica é a moagem para a retirada de aproximadamente 50% da umidade presente na planta e secagem natural da planta triturada até alcançar cerca de 25% de umidade e seguir à queima (Delfino, 2009).

O consumo mensal médio de madeira de eucalipto é cerca de 900 m³, e devido à escassez deste recurso na região, as cerâmicas o buscam em municípios vizinhos do Sul do Espírito Santo. Isso representa hoje a saída de aproximadamente dois milhões de reais por mês da Baixada Campista para municípios capixabas. A Tabela 01 apresenta os custos dos recursos energéticos utilizados pelas cerâmicas da região necessários para a queima de 1000 tijolos. Pode-se perceber que o custo utilizando capim-elefante é significativamente baixo, se comparado a outras fontes utilizadas. Ao consolidar o uso do capim-elefante como novo combustível, além de gerar empregos aos pequenos produtores incrementará também a rotatividade de recursos no município (Delfino, 2009).

Tabela 01: Custo dos recursos energéticos usados pelas cerâmicas instaladas no município de Campos dos Goytacazes para promover a queima de 1000 tijolos.

SUBSTRATO	CUSTO (R\$)
Capim-elefante	18,0
Lenha de Eucalipto	77,4
Gás natural	72,5

Fonte: Lopes, 2008

Outro projeto em andamento com finalidade semelhante é o projeto chamado “Carvão Verde”. O Instituto Nacional de Eficiência Energética assinou com a Usina Termelétrica da TermoRio (UTE – TermoRio), em maio de 2006, um convênio para implantar uma unidade de produção de carvão vegetal, utilizando-se do potencial de produção de biomassa do capim-elefante, com o intuito de utilizar tecnologias mais eficientes e fontes de energias alternativas renováveis. Está sendo construída uma unidade de carvoejamento nas dependências da Cooperativa de Agricultores e Pecuáristas de São Domingos, no Município de Conceição de Macabu, RJ, distante 83 km de Campos dos Goytacazes, RJ. O projeto está sendo supervisionado pela Secretaria de Estado de Energia, Indústria Naval e Petróleo (SEINPE), com a participação da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ. A técnica utilizada é a da pirólise rápida do capim-elefante descrita por Olivares Gomez, (2002). Conforme Deglise e Magne (1987), a pirólise consiste na decomposição térmica da matéria orgânica sob vácuo ou sob uma atmosfera inerte (por exemplo, nitrogênio).

A unidade de Conceição de Macabu foi projetada para produzir 110 toneladas de carvão vegetal por ano e utilizar a biomassa de uma área plantada de capim-elefante de 12,5 hectares. Como outro subproduto, estima-se produzir também 90 m³ de alcatrão, utilizado na indústria alimentícia, para fins veterinários, como adubo, etc. O carvão vegetal do capim-elefante é granulado e comprimido (“briquetado”), desta forma, não há desperdício de biomassa. Registre-se, ainda, que a produtividade de matéria seca (20 - 40 t.ha⁻¹) é semelhante à das florestas plantadas, com a vantagem de que esta leva até seis anos para o primeiro corte e o capim é disponível em seis meses.

O projeto está sendo desenvolvido também para dar a uma comunidade de agricultura familiar uma atividade diferente e que agrega valor aos usos

tradicionais. O projeto inicial deve gerar de 10 a 14 postos de trabalho no assentamento para atender as diversas etapas da produção que vão do plantio do capim-elefante à produção do carvão vegetal. Em longo prazo, estima-se que a unidade possa ainda fornecer o calor para usos energéticos locais tais como a secagem de grãos e frutas. Além disso, há ainda a possibilidade de usar uma parte do alcatrão como insumo para produzir biodiesel (INEE, 2009).

2.4. Potencial energético do capim-elefante

A cana-de-açúcar ultimamente perde sua liderança em eficiência energética, como mostra a Tabela 02. Pesquisas apontam o capim-elefante como uma espécie de potencial imensamente superior. Sua biomassa seca pode gerar 25 unidades de energia para cada uma de origem fóssil consumida em sua produção (Osava, 2007). Por ser uma espécie de rápido crescimento e de alta produção de biomassa vegetal, o capim-elefante apresenta alto potencial para uso não apenas como combustão direta, mas também para obtenção de carvão vegetal.

Atualmente, a lenha utilizada no País é produzida a partir de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Porém, o corte deste tipo de árvore é realizado a cada cinco anos, enquanto que no capim-elefante pode ser realizado de 2 a 3 cortes anuais. A produtividade do capim-elefante também é maior em comparação ao eucalipto, o capim produz 40 t de massa seca.ha⁻¹.ano⁻¹ e o eucalipto chega no máximo a 15 t. ha⁻¹.ano⁻¹.

De acordo com o estudo desenvolvido pela Embrapa, de uma forma geral, o teor de carbono nos tecidos vegetais apresenta mínima variação. Na biomassa vegetal do capim-elefante o teor de carbono é de aproximadamente 42%. Com isso, uma produção média de biomassa seca de capim-elefante de 30 toneladas por hectare ao ano, acumularia um total de 12,6 toneladas de carbono por hectare ao ano (Rocha, 2007). Além disso, deve-se destacar que o capim-elefante, por apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, poderia contribuir de forma eficiente para aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo, ou o seqüestro de carbono no solo.

Tabela 02: Energia produzida (kcal/kg) em algumas fontes usadas para geração de energia.

Fontes de energia	Energia produzida (Kcal/kg)	Energia Produzida por ha/ano (kcal)
Capim-elefante Paraíso	4.200	189.000.000
Capim Brachiaria brizantha	3.900	97.500.000
Eucalyptus grandis	4.641	92.820.000
Bagaço de cana	3.700	29.600.000
Lenha de cerrado	4.200	420.000
Carvão vegetal	7.250	-----
Álcool hidratado	6.700	42.880.000
Óleo Diesel	10.400	-----
Carvão mineral	11.000	-----
Papel	4.000	-----

Fonte: Vilela e Cerize (2008)

2.5. Cultivares com elevado potencial energético

Atualmente existem cultivares que se encaixam no perfil para a produção de biomassa energética, e estudos com estas cultivares estão sendo realizados a fim de se obter elevados padrões.

A cultivar 'Gramafante' tem se destacado em estudos por atingir mais de cinco metros de altura, formando densas touceiras. Estas características, aliadas à sua alta rusticidade, fácil multiplicação, e resistência considerável à seca e ao frio, justificaram a sua indicação como uma cultivar de grande potencial (Oliveira, 2001).

O capim-elefante 'Guaçu' foi introduzido no Brasil em 1978, trazido da Venezuela por pesquisadores do Instituto de Zootecnia (APTA). O referido capim é nativo da África e apresenta de 25 a 79 toneladas de MS.ha⁻¹ anualmente, dependendo da adubação, da frequência de corte e demais condutas de manejo (Pereira, 1994). Segundo Andrade *et al.* (2000), este capim apresentou aumento nos teores de matéria seca em função do aumento das doses de nitrogênio aplicada e da diminuição da frequência de corte, mostrando ser um material potencial para a produção de biomassa.

A cultivar 'Cameroon' também tem se destacado apresentando elevadas produções de biomassa, principalmente na época seca, além de apresentar também elevados teores de fibras. (Quesada, *et al.*, (2004).

2.6. Características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa

As avaliações morfoagronômicas trazem informações que, aliadas aos dados qualitativos, podem influenciar nas tomadas de decisões quanto à utilização para combustão direta do capim-elefante. Características como altura do dossel, diâmetro de colmo, comprimento e largura da folha, número de folhas, número de perfilhos, área foliar e relação folha/colmo, trazem informações adicionais sobre a qualidade do material.

Veiga (1997) relatou que o número de perfilhos de uma cultivar de capim-elefante tendeu a aumentar com intervalos de corte mais prolongados. Isso ocorre porque com o avançar da idade ocorre a maturidade fisiológica das plantas, verificando-se aumento na espessura das paredes das células vegetais, e conseqüentemente um aumento no diâmetro do colmo, que proporciona às plantas a estabilidade estrutural (Van Soest, 1994). A emissão de perfilhos basais está diretamente associada ao nível de biomassa, e sob intervalo de corte de 90 dias, a maior produtividade coincide com os maiores valores do número de perfilhos por área e da altura da planta (Ferraris, 1979). Menores espaçamentos tendem a promover a altura dos perfilhos sem, no entanto, aumentar seu número por planta (Bhatti *et al.*, 1985).

A estratégia de se buscar uma melhor resposta na avaliação da qualidade do capim-elefante é a utilização de análises bromatológicas, que têm sido mecanismos de diversas pesquisas com essa gramínea. Porém, com a idade da planta estas sofrem mudanças em sua composição química à medida que ocorre maturação fisiológica, principalmente em respostas a alterações climáticas sazonais (Van Soest, 1994).

O capim-elefante se destaca como espécie de maior potencial de produção, produzindo até 80 toneladas de matéria seca (MS) por ha.ano⁻¹ (Ruiz *et al.*, 1992). Para atingir bons resultados, é necessário que o manejo seja condizente com os objetivos propostos, requerendo então a manipulação dos fatores capazes de alterar o potencial produtivo (Lista, 2008). Santana *et al.*, 1994 descrevem a variação na quantidade de matéria-seca durante as épocas seca e chuvosa. Constata-se que nos países tropicais, a maior produção de MS coincide com a época chuvosa, principalmente durante o verão, onde os índices pluviométricos são maiores.

Produções de matéria seca da cultivar 'Guaçu' em função de 3 frequências de corte foram avaliadas por Andrade *et al.* (2000), podendo concluir que, com menor número de cortes ao ano a produção de matéria seca aumenta.

O teor de fibra é outro parâmetro importante a ser analisado para saber a viabilidade de se produzir energia a partir de capim-elefante. Este é diretamente proporcional ao poder calorífico do material. É considerado quimicamente um agregado de compostos e o principal método para sua quantificação é baseado em detergentes, em que a fração solúvel em detergente neutro é constituída de pectina, açúcares simples, amido, lipídeos e parte de compostos nitrogenados e minerais. A fração insolúvel em detergente neutro engloba a celulose, hemicelulose, lignina, parte dos compostos nitrogenados e os minerais associados a esses polímeros (Van Soest, 1994).

A parede celular é uma complexa estrutura, formada por lignina, celulose, hemicelulose, pectina, ceras, proteína e minerais. Os constituintes da parede celular ocorrem em proporções variáveis, em função da espécie, localização e maturidade da planta. Vários autores relatam aumentos nos teores de matéria seca, Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA) e celulose, e redução do teor de proteína do capim-elefante, durante o seu desenvolvimento.

Van Soest (1967) propôs, um método para solubilizar o conteúdo celular, a hemicelulose e a maior parte da proteína insolúvel, obtendo um resíduo insolúvel (lignocelulose) chamado de Fibra em Detergente Ácido (FDA), constituída, em sua quase totalidade, de celulose e lignina (lignocelulose), de proteína danificada pelo calor e parte da proteína da parede celular e de minerais insolúveis (cinzas). Por intermédio de reagentes como ácido sulfúrico (72%) ou permanganato de potássio a lignina é solubilizada completando o fracionamento dos constituintes. Tal método apresenta vantagens em relação a outros, em virtude de sua maior precisão, além de fornecer informações importantes sobre importantes componentes: fibra em detergente ácido, celulose, lignina, cinza, sílica etc (Silva e Queiróz, 2002).

A lignina também é um componente não-carboidrato da parede celular dos vegetais. Sua composição, estrutura e quantidade variam de acordo com o tecido, a origem botânica, os órgãos, a idade da planta e os fatores ambientais (Akin, 1989). A maioria dos vegetais superiores contém, pelo menos, alguma fração de

lignina. Seu conteúdo varia de 4 a 12%, podendo chegar a 20% da matéria seca nas gramíneas mais fibrosas (Silva e Queiróz, 2002). As proporções relativas dos componentes da parede celular, em especial, o teor de lignina e suas interações (químicas e estruturais) com celulose e hemicelulose, são responsáveis pela porção da fibra que potencialmente pode fornecer energia. Dessa forma, a estimação da concentração de lignina na parede celular de plantas forrageiras torna-se essencial no estabelecimento do poder calorífico destas. O poder calorífico é a quantidade de calor liberado (cal/g) de determinada amostra, quando esta é completamente oxidada em ambiente rico em oxigênio (25 a 30 atm de oxigênio).

2.7. Melhoramento genético do capim-elefante

O melhoramento genético de plantas envolve um conjunto de procedimentos, com fundamentação científica, visando à alteração de características botânico-agronômicas e à obtenção de cultivares superiores a partir da manipulação da variabilidade genética existente no germoplasma de determinado grupo (Barbosa *et al.*, 2007).

O potencial de propagação vegetativa do capim-elefante possibilita isolar e propagar plantas superiores resultantes de cruzamentos para testes e eventuais lançamentos. As progênies de cruzamentos serão, de modo geral, morfológicamente diferentes entre si, devido à elevada heterozigose do capim-elefante. As possibilidades de obtenção de cultivares com melhor produção e qualidade podem ser aumentadas pela seleção e cruzamento de clones paternos com características desejáveis. O intercruzamento de plantas superiores com constituição genética diversa pode, provavelmente, produzir mais genótipos do que o tempo, o espaço e os recursos permitirão avaliar (Pereira, 1999).

Genótipos melhorados podem também ser selecionados de plantas estabelecidas a partir de sementes produzidas por polinização aberta em introduções e cultivares superiores. Esse método deixa a contribuição do macho ao acaso, sendo, provavelmente, menos eficiente do que a condução de cruzamentos específicos (Pereira, 1999).

Hanna (1981) mostrou que o capim-elefante é sexuado. A maioria dos clones de capim-elefante não reproduzirá suas características por meio de

sementes por causa da alta heterozigose e da reprodução sexual. Entretanto, existe oportunidade para se transferir o(s) gene(s) controlador(es) da apomixia para o capim-elefante. A reprodução apomítica em capim-elefante e o híbrido interespecífico hexaplóide permitiriam a propagação por sementes de cultivares superiores, independentemente da heterozigose.

Segundo Hanna (1999), a hibridação entre clones de capim-elefante constitui a melhor estratégia para se obter cultivares superiores. Para seleção dos genitores a serem combinados podem ser adotados diversos critérios, como a complementação alélica e a divergência genética. A distância genética fornece uma estimativa da capacidade combinatória entre genótipos possibilitando a seleção de genitores que melhor combinem entre si, produzindo progênies segregantes com elevado grau de heterose. Estas estimativas normalmente são obtidas por meio de análises multivariadas, tendo por base dados do trabalho de caracterização botânico-agronômica, bioquímica e molecular.

Poucas são as cultivares de forrageiras disponíveis no Brasil resultantes de programas de melhoramento genético propriamente dito. A grande maioria é resultado da seleção realizada sobre acessos introduzidos ou coletados em coleções representativas da variabilidade natural (Araújo, 2008).

Segundo Jank (1995), mais de noventa por cento das cultivares de forrageiras disponíveis no mercado, ou introduções existentes nos Centros de Pesquisa, Estações Experimentais ou Universidades do Brasil, são selvagens, ou seja, são materiais tais quais encontrados na natureza e que não sofreram qualquer tipo de manipulação genética.

Atualmente existem programas de melhoramento de capim-elefante visando alta produção de biomassa. O programa realizado pela UENF está em fase inicial e tem como principal objetivo obter cultivares com elevado poder calorífico aliado a altas produções de biomassa para ser utilizado na combustão direta e como carvão no Norte Fluminense. Outros programas como o da Embrapa Agrobiologia estuda a mais de dez anos a real possibilidade de se obter energia a partir de capim-elefante e já indicou três cultivares comerciais com elevadas produções de biomassa. Este programa coordenado pelo professor e pesquisador Segundo Urquiaga possui projetos associados com empresas como a SAMARCO Mineração S/A, localizada em Anchieta, ES com o objetivo de utilizar capim-elefante como fonte de energia na produção do ferro guza.

2.8. Correlações Canônicas

A técnica de Correlações Canônicas tornou-se uma ferramenta para o melhoramento genético e foi descrita por Hotelling (1936), sendo consolidada por Rao (1952), Mardia *et al.* (1979), Dunteman (1984), Manly (1986), Jhonson e Winckern (1988), Liberato (1985), Amaral Júnior (1996) e Cruz e Regazzi (1997). Segundo alguns desses autores, a aplicação geral e usual consiste em identificar e quantificar as associações entre dois grupos de variáveis. No entanto, cita-se como possibilidade de emprego desta metodologia os casos em que se interessa avaliar as relações entre, por exemplo, caracteres de parte aérea “versus” sistema radicular, caracteres agrônômicos “versus” caracteres fisiológicos, componentes primários “versus” componentes secundários de produção etc. (Cruz e Regazzi, 1997), podendo auxiliar a seleção de um ideótipo de planta mais adequada às exigências de uma agricultura moderna e competitiva.

Esta técnica é uma generalização da correlação e regressão que é aplicável quando os atributos de um único grupo de objetos podem ser divididos naturalmente em dois conjuntos. Mais especificamente, considerada uma extensão da Regressão Múltipla, a Análise de Correlações Canônicas possui certas propriedades similares às dos Componentes Principais, porém esta última considera as inter-relações dentro de um grupo de variáveis, enquanto a outra considera a relação entre dois grupos de variáveis (Liberato 1985, Amaral Júnior 1996, Cruz e Regazzi, 1997).

De acordo com Liberato (1985) e Amaral Júnior (1996), na Análise de Regressão Múltipla, as variáveis são separadas em um grupo X , contendo p variáveis e um grupo Y contendo $q=1$ variável, cujo objetivo consiste em encontrar a combinação linear $a'X$ que seja a mais correlacionada com Y . Na Análise de Correlação Canônica, o grupo Y contém $q > 2$ variáveis, sendo seu principal objetivo sumariar as associações entre os grupos X e Y , em termos de umas poucas covariâncias (ou correlações), escolhidas criteriosamente (Cruz e regazzi, 1997).

O método consiste, basicamente, em encontrar um vetor de coeficiente para cada grupo de variáveis, tal que a correlação entre duas combinações seja máxima. Para tanto, determina-se o primeiro par de combinações lineares que

possuam a maior correlação entre todos os pares não-correlacionados com o par selecionado inicialmente e, assim, sucessivamente. As combinações lineares são denominadas Variáveis Canônicas e suas correlações, Correlações Canônicas (Amaral Júnior, 1996).

Estudando as correlações canônicas das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, Trugilho *et al.* (2003) verificaram a interdependência entre os grupos de variáveis estudadas. Pelas análises realizadas, observaram que as correlações canônicas foram elevadas e que os grupos considerados não são independentes.

Bezerra Neto *et al.* (2006) avaliando as correlações canônicas em cinco caracteres morfoagronômicos de sete linhagens de abóbora observaram que as correlações simples e canônicas demonstraram que o aumento de peso médio de frutos foi acompanhado de aumento na espessura da polpa e nos comprimentos longitudinal e transversal. Por outro lado, o aumento no número médio de frutos apresentou correlação significativa com redução no comprimento longitudinal e na espessura de polpa e com incremento do comprimento transversal.

Silva *et al.* (2007) estimaram a intensidade de associação entre os grupos de caracteres agrônômicos (altura do colmo, diâmetro do colmo, número de touceiras por parcela e número de colmos por touceira) e industriais (tonelada de cana por hectare, Brix, Pol%, e fibra). Pela análise de correlações canônicas, ficou evidenciado que clones com maior número de touceiras por parcela e maior número de colmos por touceira tendem a proporcionar um aumento na produção de cana por hectare, e para incrementar o rendimento de produção, brix e a POI% devem ser selecionados clones baixos, com maior diâmetro e maior número de colmos por touceira.

Portanto, o conhecimento das correlações entre características também assume importância relevante, sobretudo quando se deseja obter ganhos indiretos ou mesmo simultâneos em diferentes características. Uma das vantagens desse procedimento, além do ganho em si, é a economia de tempo e mão-de-obra (Falconer, 1987). Embora a análise biométrica via correlações canônicas seja uma técnica de grande potencial de uso para o melhorista, sua aplicação tem sido rara, uma vez que nos últimos anos, poucos trabalhos foram desenvolvidos utilizando-se correlações canônicas

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características climáticas da região

O experimento foi instalado nas dependências do Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, RJ. Sua localização é dada a 21°44'47" latitude Sul e 41°18'24" longitude Oeste a uma altitude de 12 m do nível do mar.

Segundo o sistema de classificação de Köppen (1948), citado por Ometto (1981), o clima da região Norte Fluminense é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão, com precipitação anual em torno de 1152 mm (média dos últimos 4 anos). Os dados de precipitação pluviométrica mensal, verificados durante o período experimental foram obtidos na Estação Evapotranspirométrica – setor de Irrigação e Agrometeorologia da UENF/PESAGRO (Campos dos Goytacazes – RJ), e estão indicadas na Tabela 03.

Tabela 03: Precipitação pluviométrica registrada em Campos dos Goytacazes, RJ, no período experimental (Julho de 2008 a maio de 2009).

Período	Precipitação (mm)
julho	6,10
agosto	4,70
setembro	63,50
outubro	52,20
novembro	479,20
dezembro	372,70
janeiro	142,70
fevereiro	63,20
março	106,40
abril	88,50
maio	22,10
Total	1401,30

O solo no qual os genótipos foram cultivados se caracteriza como um solo de terraço, classificado como Argissolo Amarelo, distrófico (Embrapa, 2006).

3.2. Condições experimentais

O experimento foi composto por cinquenta e dois genótipos de capim-elefante (tratamentos), doados pelo Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante (BAG-CE) da Embrapa Gado de Leite, localizado em Coronel Pacheco – MG (Tabela 04). O plantio foi realizado em 28 de março (final do período das águas) de 2008 por meio de pedaços de colmo, distribuídos em sulcos de 10 cm de profundidade. No plantio foram incorporados 100 kg/ha de P_2O_5 (Super Fosfato Simples). A irrigação foi oferecida apenas durante a emergência das plantas e após 50 dias de plantio, complementou-se a adubação com 25 kg/ha de Sulfato de Amônio e Cloreto de Potássio.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com duas repetições, perfazendo um total de 104 parcelas. A parcela experimental foi composta por duas linhas de três metros espaçadas de 0,5 metros entre linhas e 2 metros entre parcelas, sendo consideradas úteis apenas 1,5 m de uma das linhas, desprezando-se as extremidades de cada linha.

Após a fase de estabelecimento, em 1º de julho de 2008 (90 dias após plantio), todos os genótipos foram cortados rente ao solo (corte de uniformização),

seguida de uma adubação em cobertura com 25 kg/ha de Sulfato de Amônio e Cloreto de Potássio, dando início à fase de coleta de dados. O primeiro corte para a avaliação das análises de qualidade da biomassa foi realizado em maio de 2009, ou seja, no fim da estação chuvosa, permanecendo no campo cerca de 10 meses.

Tabela 04: Identificação dos genótipos de capim-elefante da Embrapa Gado de Leite (CNPGL) a serem avaliados em Campos dos Goytacazes, RJ.

Código do BAGCE	Identificação	Procedência
BAGCE - 1	Elefante de Colômbia	IPEACO - Colômbia
BAGCE -2	Mercker	IPEACO – Água Limpa - MG
BAGCE -3	Três Rios	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -4	Napier Volta Grande	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -5	Mercker Santa Rita	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -6	Pusa Napier nº 2	Índia
BAGCE -7	Gigante de Pinda	Pindamonhangaba – SP
BAGCE -8	Napier nº 2	Goiás
BAGCE -9	Mercker S.E.A.	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -10	Taiwan A-148	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -11	Porto Rico 534-B	UFV – Viçosa – MG
BAGCE -12	Taiwan A-25	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -13	Albano	Colômbia
BAGCE -14	Híbrido Gig. da Colômbia	Colômbia
BAGCE -15	Pusa Gigante Napier	Índia
BAGCE -16	Elefante Híbrido 534-A	UFV – Viçosa - MG
BAGCE -17	Costa Rica	Turrialba, Costa Rica
BAGCE -18	Cubano Pinda	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -19	Mercker Pinda	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -20	Mercker Pinda México	UFRRJ – Seropédica - RJ
Tabela 04, cont		
Código do BAGCE	Identificação	Procedência
BAGCE -21	Mercker 86 - México	Colômbia
BAGCE -22	Taiwan A-144	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -23	Napier S.E.A.	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -24	Taiwan A-143	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -25	Pusa Napier nº 1	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -26	Elefante de Pinda	Colômbia
BAGCE -27	Mineiro	IPEACO – Sete Lagoas - MG
BAGCE -28	Mole de Volta Grande	Volta Grande – SP
BAGCE -29	Porto Rico	IPEACO – Sete Lagoas - MG
BAGCE -30	Napier	Pedro Leopoldo - MG
BAGCE -31	Merckeron Comum	Pindamonhangada – SP
BAGCE -32	Teresópolis	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -33	Taiwan A-46	UFRRJ – Seropédica - RJ

BAGCE -34	Duro de Volta Grande	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -35	Merckeron Comum Pinda	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -36	Turrialba	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -37	Taiwan A-146	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -38	Cameroon - Piracicaba	ESALQ - Piracicaba
BAGCE -39	Taiwan A-121	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -40	Vrukwna	ESALQ - Piracicaba
BAGCE -49	P-241-Piracicaba	ESALQ - Piracicaba
BAGCE -51	IAC – Campinas	UFRRJ – Seropédica - RJ
BAGCE -52	Elef. Cach de Itapemirim	UFRRJ – Seropédica – RJ
BAGCE -54	Capim Cana D'África	IPEACS – Linhares - ES
BAGCE -56	Gramafante	Colômbia
BAGCE -57	Roxo	Lavras – ESAL – MG
BAGCE -60	Guaçu/IZ.2	Nova Odessa - SP
BAGCE -64	King Grass	Cuba
BAGCE -65	Roxo Botucatu	UNESP - Botucatu
BAGCE -67	Vruckwna Africana	CENARGEM - Brasília
BAGCE -68	Cameroon	CENARGEM - Brasília
BAGCE -91	Pasto Panamá	Panamá

3.3. Características avaliadas

3.3.1. Características morfoagronômicas

a) **Altura de planta (Alt)**

As medidas de altura de planta foram mensuradas com uma trena, tomando uma média de três medidas dentro de cada parcela.

b) **Diâmetro do colmo (DM)**

As medidas do diâmetro do colmo foram realizadas a cerca de 20 cm do solo, tomando uma média de três medições utilizando-se um paquímetro digital.

c) **Número de perfilhos (NP)**

A contagem do número de perfilhos foi realizada em 1,5 m linear de uma das linhas da parcela.

d) **Massa Seca (MS)**

Foi realizada a pesagem de 1,5 m da parcela logo após o corte. Para a obtenção da massa seca foi retirada uma amostra da parcela ao acaso. Esta foi devidamente picada e acondicionada em saco de papel identificado, pesado e

colocado em estufa 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 Queiróz (2002).

3.3.2. Características da qualidade da biomassa

O material seco (folha e colmo) foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm e acondicionado em frasco de vidro identificado para as análises da qualidade da biomassa.

a) Matéria seca (%MS)

A matéria seca da ASA foi corrigida em estufa de ventilação forçada a 105°C, segundo Silva e Queiróz (2002).

b) Fibra em Detergente Ácido (FDA)

A análise de FDA foi realizada conforme proposto por Van Soest descrito por Silva e Queiróz (2002). A utilização do detergente ácido específico tem por finalidade solubilizar o conteúdo celular, a hemicelulose e a maior parte da proteína insolúvel, obtendo um resíduo insolúvel (lignocelulose) chamado de Fibra em Detergente Ácido (FDA), constituída, em sua quase totalidade, de celulose (% cel) e lignina (% lig) (lignocelulose).

c) Percentagem de Celulose (% cel)

A fração celulose representa a maior parte da FDA e é determinada por diferença de peso, conforme proposto por Van Soest descrito por Silva e Queiróz (2002).

d) Percentagem de Lignina (% lig)

A lignina é determinada a partir da FDA (celulose, lignina, cutina, minerais, sílica e NIDA). Por intermédio de reagentes como ácido sulfúrico (72%) a lignina é solubilizada completando o fracionamento dos constituintes fibrosos.

e) Percentagem de cinzas (%cin)

A percentagem de cinzas foi determinada por meio da diferença de peso após a análise de determinação da Lignina.

f) Teor de Nitrogênio Total (N_{tot})

A análise do teor de nitrogênio total foi realizada conforme proposto por Van Soest descrito Silva e Queiróz (2002), pelo método Semimicro Kjeldahl.

g) Poder calorífico (PC)

O poder calorífico de cada amostra foi determinado pelo calorímetro adiabático IKA modelo C-200 pela completa oxidação da amostra.

3.4. Análise estatística

3.4.1. Análise de variância

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa GENES (Cruz, 2006) versão 1.0. Foi realizada, inicialmente, uma análise de variância com base na média das parcelas para cada uma das características avaliadas descritas anteriormente (Tabela 05), considerando-se como fixos todos os efeitos, exceto bloco e erro experimental (modelo fixo). Utilizando o seguinte modelo estatístico:

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

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

μ = média geral;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo;

B_j = efeito do j-ésimo bloco; e

ε_{ij} = erro experimental.

Tabela 05: Esquema da análise de variância, com as respectivas esperanças de quadrados médios

F.V.	G.L.	Q.M.	E(QM)	F
Blocos	(r - 1)	QMB	$\sigma^2 + g \sigma_B^2$	
Genótipos	(g - 1)	QMG	$\sigma^2 + r \theta_G^2$	QMG/QMR
Resíduo	(r - 1) (g - 1)	QMR	σ^2	

$$\theta_G^2 = \sum_{i=1}^g G_i^2 / (g - 1)$$

Após a análise de variância, as médias dos genótipos foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

3.5. Correlações Canônicas

Para a realização do estudo de Correlações Canônicas foi estabelecido dois grupos de caracteres, sendo o grupo I formado pelos componentes morfoagronômicos, ou seja, massa seca (MS), diâmetro médio do colmo (DM), número de perfilhos (NP) e Altura da planta (ALT). O grupo II foi composto pelos caracteres da qualidade da biomassa, ou seja, percentagem de matéria seca (%MS), Fibra em Detergente Ácido (FDA), percentagem de celulose (%cel), percentagem de lignina (%lig), percentagem de cinzas (%cin), teor de nitrogênio total (Ntot) e poder calorífico (PC).

Pela técnica das correlações canônicas, estimou-se a máxima correlação entre dois complexos de variáveis, grupos I e II, estimando-se, ainda, os coeficientes de ponderação das características em cada combinação linear. Sejam dois grupos de variáveis X e Y, definidos como sendo:

$X' = [x_1 \ x_2 \dots \ x_4]$ é o vetor de medidas de p características que constituem o grupo I, e

$Y' = [y_1 \ y_2 \dots \ y_6]$ é o vetor das medidas de q características que constituem o grupo II.

O problema estatístico consiste em estimar a máxima correlação entre combinações lineares de características do grupo I e do grupo II, bem como estimar os respectivos coeficientes de ponderação das características em cada combinação linear. Sendo X_1 e Y_1 uma das combinações lineares das variáveis pertencentes aos grupos I e II, respectivamente, tem-se (Cruz & Regazzi, 2001):

$$X_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_4x_4 \text{ e}$$

$$Y_1 = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_6y_6 ,$$

em que:

$a' = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_4]$ é o vetor 1 x 4 de pesos das características do grupo I; e

$b' = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_6]$ é o vetor 1 x 6 de pesos das características do grupo II.

Define-se como a primeira correlação canônica aquela que maximiza a relação entre X_1 e Y_1 . As funções X_1 e Y_1 constituem o primeiro par canônico associado àquela correlação canônica que é expressa por:

$$r_1 = \frac{\text{Côv}(X_1, Y_1)}{\sqrt{\hat{V}(X_1) \cdot \hat{V}(Y_1)}} , \text{ em que:}$$

$$\text{Côv}(X_1, Y_1) = a' S_{12} b$$

$$\hat{V}(X_1) = a' S_{11} a; \text{ e}$$

$$\hat{V}(y_1) = b' S_{22} b.$$

Em que:

S_{11} a matriz p x p de covariâncias entre as características do grupo I;

S_{22} a matriz q x q de covariâncias entre as características do grupo II;

S_{12} a matriz p x q de covariâncias entre as características dos grupos I e II.

Para os casos em que se utilizam variáveis padronizadas, têm-se $S_{11} = R_{22}$, $S_{22} = R_{22}$, e $S_{12} = R_{12}$ em que R representa uma matriz de correlações. Sendo que R corresponde à matriz de correlação dos dois grupos de variáveis, correspondente a:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix}, \text{ sendo } R_{21} = R_{12}$$

A estimativa dos vetores a e b é obtida pela maximização da função r^2 , sujeita à restrição de que $a'S_{11}a = b'S_{22}b = 1$. Estas restrições são necessárias para prover estimadores únicos de a e b e indicam que cada combinação linear tem variância igual a 1 (Cruz & Regazzi, 2001).

O primeiro passo é a determinação dos autovalores das equações características:

$$\left| R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21} - \lambda I \right| = 0 \text{ e}$$

$$\left| R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12} - \lambda I \right| = 0,$$

seguido do cálculo dos seus respectivos autovetores associados. Os autovalores podem ser calculados a partir de duas equações características distintas, a partir de duas matrizes diferentes, uma de ordem p e outra de ordem q . É claro que se $p = q$ e as variáveis X_1, X_2, \dots, X_p , bem como as variáveis Y_1, Y_2, \dots, Y_q são linearmente independentes, existirão $p = q$ autovalores não-nulos e $p = q$ pares canônicos. Entretanto, se, por exemplo, $p < q$, existirão $q - p$ autovalores nulos da matriz $R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}$ e apenas p pares canônicos.

O sistema de equações lineares é dado por:

$$(R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21} - \lambda I) a = \phi$$

$$(R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12} - \lambda I) b = \phi$$

Assim, tem-se que:

1. a primeira correlação canônica (r_1) entre a combinação linear das características dos grupos I e II é dada por:

$$r = \sqrt{\lambda_1}$$

em que λ_1 é o maior autovalor da matriz $R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ que é quadrada e, em geral, não simétrica (Jonson & Wichern, 1988) de ordem p ;

2. o primeiro fator canônico é dado por $X_1 = a' X$ e $Y_1 = b' Y$, em que:

a : autovetor associado ao primeiro autovalor de $R_{11}^{-1}R_{12}R_{22}^{-1}R_{21}$ e

b : autovetor associado ao primeiro autovalor de $R_{22}^{-1}R_{21}R_{11}^{-1}R_{12}$; e

3. as demais correlações e fatores canônicos são estimados utilizando-se os autovalores e os autovetores das expressões descritas, de ordem correspondente a p ou q-ésima correlação estimada.

Para a análise utilizaram-se as matrizes de correlação fenotípica e a significância da hipótese de nulidade em que todas as possíveis correlações canônicas são nulas foi avaliada utilizando-se o teste X^2 . Também foram realizadas análises de correlações canônicas para verificar as associações existentes entre o grupo de caracteres morfoagronômicos (grupo I) e caracteres da qualidade da biomassa (grupo II). Todas as análises foram feitas utilizando-se o programa Genes versão 1.0.0 (Cruz, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de variância

As análises de variância têm grande importância, pois possibilitam avaliar a magnitude da variabilidade genética entre os genótipos estudados, a precisão relativa do experimento e as discrepâncias entre as variâncias residuais obtidas. (Cruz e Regazzi, 2001). Os valores dos quadrados médios obtidos na análise de variância, das médias e dos coeficientes de variação experimental, envolvendo os 52 genótipos de capim-elefante avaliados em Campos dos Goytacazes, são apresentados na Tabela 06.

Segundo Pimentel-Gomes (2000), os coeficientes de variação dão uma idéia de precisão do experimento e, quando encontrados em ensaios agrícolas de campo, podem ser considerados baixos, quando inferiores a 10%, médios, quando de 10% a 20%, altos, quando de 20% a 30%, e muito altos, quando superior a 30%.

Tabela 06 – Estimativa dos quadrados médios, das médias e dos coeficientes de variação experimental de 11 características avaliadas em 52 genótipos de capim-elefante. Campos dos Goytacazes, RJ. 2009.

^{1/} Quadrados Médios												
FV	GL	MS	DM	NP	Alt	%MS	%FDA	%cel	%lig	%cin	%Ntot	PC
Blocos	1	575.3745	0.0121	870.01	1.4312	0.0064	3.6563	22.08	32.693	0.0012	0.0011	35928
Genótipos	51	130.9125*	9.3819**	620.0565**	0.2402**	0.0032*	9.1965*	4.9595 ^{ns}	4.9225*	0.0003 ^{ns}	0.0212 ^{ns}	3848.3822 ^{ns}
Resíduo	51	78.8238	2.6249	247.21	0.117	0.0020	4.8225	3.5643	2.646	0.0002	0.0225	2649.6
Média		28.53	11.80	44.25	3.33	0.36	47.00	34.86	8.92	0.03	0.59	3898.2
CV (%)		31.12	13.73	35.53	10.27	12.44	4.67	5.42	18.23	49.43	25.6	1.32

^{1/}MS = massa seca (t/ha); %MS = percentagem de matéria seca; NP = número de perfilhos; Alt = altura da planta (m); DM = diâmetro médio (mm); %FDA = percentagem de Fibra em Detergente Ácido; %cel = percentagem de celulose; %lig = percentagem de lignina; %cin = percentagem de cinzas; %Ntot = percentagem de nitrogênio total; PC = poder calorífico (cal/g).

** = Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F;

* = Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F;

^{ns} = Não significativo.

CV(%) = Coeficiente de variação.

Os valores dos coeficientes de variação encontrados nas variáveis foram relativamente baixos e aceitáveis, exceto para MS, NP e %cin. Apesar de alguns valores dos coeficientes de variação ser classificados como altos ou muito altos pelo critério de Pimentel-Gomes (2000), esses valores da faixa de classificação são muito abrangentes e não levam em consideração os particulares da característica e da cultura estudada. Assim, esses valores são aceitáveis, devido às características em estudo serem governadas por muitos genes e então bastante influenciadas pelo ambiente.

Encontraram diferenças significativas pelo teste F ($P < 0,05$) para a maioria das variáveis, porém não houve diferença significativa para %cel, %cin, Ntot e PC. Pelo exposto pode-se observar que não há grande variabilidade existente entre os genótipos estudados em nível de qualidade de biomassa, exceto pelos teores de matéria seca, FDA e %lig. No entanto, as diferenças dos caracteres morfoagronômicos revelam uma condição favorável à realização de programas de melhoramento.

4.2. Análise das médias

Mesmo apresentando efeito não significativo para o tratamento em várias características estudadas, procedeu-se a análise das médias dos genótipos, uma vez que, possíveis diferenças podem ser detectadas. As médias foram avaliadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, e estão apresentadas na Tabela 07.

A produção de matéria seca variou entre 14,83 a 56,56 t/ha para os genótipos Gramafante e Mercker 86-México, respectivamente, e obteve uma média de 28,53 t/ha. Morais *et al.*, (2009), analisaram cinco genótipos quanto à produção observaram para a cultivar 'Gramafante' uma produção superior média de 23,6 t/ha em um intervalo de corte de 9 meses. Quesada, (2005) também obteve produções maiores para a mesma cultivar, principalmente quando houve adubação nitrogenada, em 7 meses de cultivo.

Vale ressaltar que a aplicação de elevadas doses de nitrogênio culmina em uma elevada produtividade do capim-elefante, porém geram custos elevados, tornando negativo o balanço energético. Por isso, é mais vantajoso obter elevadas produções sem a adição de adubos nitrogenados, com baixos custos e

consequentemente aumentando o balanço energético, do que utilizar a adubação, gerando quantidades de energia equivalentes às que foram gastas para gerá-la.

O genótipo Cameroon, conhecido por ter excelente desempenho no campo, também obteve produções semelhante a Morais *et al.*, (2009), que obtiveram produção de até 32 t/ha. Elevadas produções também foram encontradas para o genótipo Guaçu I/Z, produzindo acima de 50 t/ha. Andrade, *et al.*, (2000) obtiveram uma produção de 49,48 t/ha com um intervalo de corte de 6 meses no estado de São Paulo. Esses resultados são muito promissores e asseguram o uso do capim-elefante como uma fonte alternativa de energia através da queima direta da biomassa, com baixo custo energético de produção.

Para a característica Altura (Alt) não houve diferença entre as médias, apesar de haver diferença significativa. Os valores variaram de 2,55 a 4,0 m, encontrados nos genótipos Costa Rica e Albano, respectivamente e a média foi de 3,3 m. Lima *et al.* (2006) encontraram valores semelhantes com o mesmo intervalo de corte, obtendo uma média de 3,05 m em Nova Odessa (SP) e 3,37 m em Brotas (SP) com a cultivar 'Guaçu'. Valores menores de altura são muito encontrados na literatura com estudos para fins forrageiros (capineira e pastejo), no qual o intervalo de corte é menor. Pereira *et al.*, (2006) constataram uma ordem crescente nos valores de altura em três cortes avaliados, já os valores de diâmetro médio e número de perfilhos encontraram mesmo valor médio.

Os valores de perfilhamento variaram de 17 (Costa Rica) a 102 (Porto Rico). A média foi de 44,5, sendo bastante superior aos valores obtidos por Botrel (2000), que encontrou média de 36 perfilhos e valores semelhantes na cultivar 'Cameroon', Daher *et al.*, (2000), que obtiveram uma média de 21,6 perfilhos, e Paciullo *et al.* (2003), que variaram de 14 a 38 perfilhos. Estes resultados são importantes, pois maior número de perfilhos basais implica em maior número de gemas axilares para o desenvolvimento de perfilhos aéreos (Jacques, 1994), os quais são muito importantes para o período de crescimento.

A característica diâmetro médio das plantas (DM) apresentou-se distribuída em cinco letras. Os valores de diâmetro variaram de 7,3 a 16,3 mm, obtendo uma média de 11,8 mm. Os maiores valores foram encontrados pelo Guaçu/IZ.2 e os menores na cultivar 'Teresópolis'. Daher *et al.*, (2000) também encontraram valores semelhantes para diâmetro médio. Pereira *et al.* (2006) também encontraram valores semelhantes de diâmetro do colmo, obtendo uma média de

10,8 mm, ilustrando uma considerável amplitude de variação e indicando ser uma característica de alta variabilidade entre os acessos avaliados.

A porcentagem de matéria seca (%MS) média foi de 37.16%, oscilando entre 29,42% no P-241-Piracicaba nº 9, a 68,24% no Mercker 86 – México. Ocorreu divisão dos genótipos em 2 grupos. Foi observado um elevado percentual de matéria seca em relação a trabalhos como o de Souza Sobrinho *et al.*, (2005), que encontraram uma média de 24,47% com intervalos de corte menores que 100 dias.

Santos *et al.* (2001), avaliando a composição química do capim-elefante cv. Roxo, encontraram %MS média de 19,7% e 17,4% no período seco e chuvoso, respectivamente, enquanto que neste trabalho foi encontrado para a mesma cultivar uma média de 30,46%. Os teores de matéria seca observados, comparados com os resultados encontrados por Santos *et al.* (2001), e Souza Sobrinho *et al.*, (2005), confirmam que há um incremento de matéria seca quando se aumenta o intervalo de corte.

Tabela 07 – Valores médios para as características morfoagronômicas e da qualidade da biomassa de 52 acessos de capim-elefante do Banco de Germoplasma da UENF. Campos dos Goytacazes, RJ 2009.

Genótipos	1/Características										
	MS	DM	NP	Alt	%MS	FDA	%cel	%lig	% cin	Ntot	PC
Elefante de Colômbia	28.65 ab	10.4 abcde	45.3 abc	3.5 a	40.31 bc	49.81 a	35.91 a	10.72 ab	3.0 ab	0.43 a	3918 a
Mercker	21.20 ab	11.4 abcde	29.3 bc	3.9 a	35.67 c	46.87 a	34.79 a	8.67 ab	3.0 ab	0.44 a	3940 a
Três Rios	32.31 ab	12.9 abcde	42.3 abc	3.3 a	32.72 c	43.98 a	32.04 a	7.73 ab	4.0 ab	0.77 a	3872 a
Napier Volta Grande	28.13 ab	11.7 abcde	40.0 abc	3.3 a	38.63 bc	46.56 a	34.71 a	9.79 ab	2.0 b	0.73 a	3963 a
Mercker Santa Rita	27.76 ab	11.7 abcde	57.6 abc	2.7 a	34.72 c	45.01 a	34.30 a	7.27 ab	3.5 ab	0.68 a	3913 a
Pusa Napier nº 2	31.88 ab	11.7 abcde	45.3 abc	3.6 a	36.94 c	47.59 a	36.28 a	7.84 ab	3.5 ab	0.53 a	3923 a
Gigante de Pinda	31.04 ab	9.7 abcde	60.0 abc	3.2 a	34.92 c	47.65 a	33.97 a	9.11 ab	4.0 ab	0.68 a	3896 a
Napier nº 2	22.96 ab	11.9 abcde	33.0 bc	3.3 a	41.76 bc	47.42 a	34.21 a	8.71 ab	4.5 ab	0.49 a	3873 a
Mercker S.E.A.	21.96 ab	11.3 abcde	31.3 bc	3.5 a	41.78 bc	47.63 a	34.83 a	9.61 ab	3.0 ab	0.49 a	3894 a
Taiwan A-148	17.82 b	10.9 abcde	48.5 abc	3.1 a	30.40 c	43.63 a	32.75 a	8.86 ab	2.0 b	0.50 a	3912 a
Porto Rico 534-B	39.48 ab	10.8 abcde	45.2 abc	3.8 a	37.91 bc	46.10 a	34.21 a	9.83 ab	2.0 b	0.52 a	3889 a
Taiwan A-25	27.46 ab	14.0 abcde	25.3 bc	3.8 a	35.07c	48.39 a	36.63 a	10.62 ab	1.0 b	0.49 a	4009 a
Albano	29.08 ab	14.6 abc	17.3 c	4.0 a	38.80 bc	49.45 a	35.33 a	7.71 ab	6.0 ab	0.42 a	3872 a
Híbrido Gig. da Colômbia	20.80 ab	12.0 abcde	42.3 abc	3.1 a	37.05 c	47.24 a	35.35 a	9.76 ab	2.0 b	0.49 a	3976 a
Pusa Gigante Napier	15.50 b	9.4 abcde	40.0 abc	2.8 a	36.75 c	45.03 a	32.40 a	9.70 ab	3.0 ab	0.62 a	3859 a
Elefante Híbrido 534-A	32.80 ab	13.8 abcde	53.3 abc	3.2 a	37.85 c	48.24 a	34.05 a	9.69 ab	4.5 ab	0.67 a	3931 a
Genótipos	MS	DM	NP	Alt	%MS	FDA	%cel	%lig	% cin	Ntot	PC
Costa Rica	21.19 ab	11.1 abcde	42.0 abc	2.5 a	38.67 bc	49.57 a	33.76 a	11.90 ab	4.0 ab	0.60 a	3905 a
Cubano Pinda	37.34 ab	14.1 abcde	21.3 bc	3.6 a	35.85 c	43.73 a	32.66 a	8.60 ab	2.5 b	0.62 a	3882 a
Merckeron Pinda	31.39 ab	12.2 abcde	45.3 abc	3.1 a	36.94 c	47.96 a	35.32 a	9.24 ab	3.5 ab	0.57 a	3973 a
Mercker Pinda México	33.01 ab	11.9 abcde	33.3 bc	3.3 a	34.74 c	50.04 a	36.82 a	10.06 ab	4.0 ab	0.52 a	3962 a
Mercker 86 - México	56.57 a	11.2 abcde	39.0 abc	3.5 a	68.24 a	48.96 a	36.56 a	9.27 ab	3.0 ab	0.52 a	3959 a
Taiwan A-144	31.77 ab	9.2 bcde	41.0 abc	3.6 a	37.41 c	46.03 a	34.07 a	9.65 ab	2.5 b	0.43 a	3899 a
Napier S.E.A.	25.06 ab	9.9 abcde	46.0 abc	3.1 a	40.19 bc	47.58 a	34.11 a	10.00 ab	3.5 ab	0.56 a	3896 a

Taiwan A-143	30.01 ab	10.7 abcde	47.6 abc	3.3 a	36.94 c	47.05 a	32.66 a	9.75 ab	4.5 ab	0.61 a	3876 a
Pusa Napier nº 1	24.84 ab	15.6 ab	23.0 bc	3.7 a	35.37 c	45.11 a	32.42 a	10.07 ab	2.5 b	0.51 a	3876 a
Elefante de Pinda	23.07 ab	11.3 abcde	54.0 abc	3.2 a	37.12 c	49.54 a	35.93 a	10.86 ab	3.0 ab	0.53 a	3895 a
Mineiro	20.61 ab	9.4 abcde	43.0 abc	3.8 a	34.99 c	47.89 a	35.58 a	8.21 ab	4.0 ab	0.50 a	3848 a
Mole de Volta Grande	24.11 ab	9.8 abcde	66.0 abc	3.4 a	36.18 c	49.93 a	37.94 a	9.54 ab	2.5 b	0.66 a	3943 a
Porto Rico	33.95 ab	9.7 abcde	102.0 a	2.8 a	37.43 c	47.42 a	34.58 a	9.39 ab	3.5 ab	0.74 a	3867 a
Napier	24.49 ab	9.2 bcde	43.0 abc	3.4 a	39.34 bc	51.33 a	38.75 a	10.47 ab	2.0 b	0.52 a	3929 a
Merckeron Comum	14.96 b	7.6 de	57.7 abc	2.7 a	32.75 c	46.87 a	35.60 a	8.08 ab	3.0 ab	0.83 a	3953 a
Teresópolis	23.61 ab	7.3 e	83.3 abc	2.8 a	35.10 c	48.59 a	36.68 a	9.33 ab	3.0 ab	0.74 a	3912 a
Taiwan A-46	33.23 ab	8.7 cde	42.4 abc	3.2 a	42.26 bc	48.56 a	35.24 a	9.87 ab	3.0 ab	0.47 a	3902 a
Duro de Volta Grande	24.00 ab	10.6 abcde	47.3 abc	3.5 a	39.78 bc	51.38 a	36.81 a	5.18 b	9.5 a	0.46 a	3843 a
Merckeron Com Pinda	27.79 ab	8.6 cde	87.6 ab	3.0 a	35.75 c	46.92 a	38.05 a	6.67 ab	2.5 b	0.74 a	3926 a
Genótipos	MS	DM	NP	Alt	%MS	FDA	%cel	%lig	% cin	Ntot	PC
Turrialba	27.50 ab	13.4 abcde	24.4 bc	3.2 a	51.08 b	49.37 a	32.68 a	13.41 a	3.0 ab	0.48 a	3853 a
Taiwan A-146	33.76 ab	12.2 abcde	59.8 abc	3.7 a	33.70 c	46.67 a	35.80 a	8.11 ab	3.0 ab	0.55 a	3893 a
Cameroon - Piracicaba	25.44 ab	14.1 abcde	33.3 bc	3.4 a	29.84 c	44.70 a	35.79 a	6.90 ab	2.0 b	0.59 a	3887 a
Taiwan A-121	34.26 ab	9.9 abcde	78.3 abc	3.2 a	38.13 bc	46.41 a	33.15 a	9.26 ab	4.0 ab	0.73 a	3872 a
Vrukwona	19.27 ab	12.2 abcde	25.3 bc	3.4 a	35.14 c	45.74 a	34.54 a	8.28 ab	3.0 ab	0.62 a	3891 a
P-241-Piracicaba	42.96 ab	15.7 ab	47.6 abc	3.6 a	29.42 c	45.14 a	35.71 a	6.97 ab	2.5 b	0.61 a	3808 a
IAC – Campinas	25.67 ab	13.4 abcde	21.3 bc	3.0 a	34.73 c	45.93 a	35.70 a	6.92 ab	3.5 ab	0.61 a	3916 a
Elef. Cach. de Itap	25.53 ab	11.5 abcde	60.0 abc	2.9 a	40.06 bc	48.51 a	34.97 a	9.67 ab	4.0 ab	0.52 a	3825 a
Capim Cana D'África	36.17 ab	13.9 abcde	36.0 abc	3.3 a	33.31 c	43.14 a	33.53 a	7.65 ab	2.0 b	0.67a	3918 a
Gramafante	14.84 b	9.7 abcde	56.0 abc	2.8 a	37.71 c	46.07 a	35.28 a	8.58 ab	2.5 b	0.49 a	3879 a
Roxo	29.59 ab	14.7 abc	26.1 bc	3.6 a	30.46 c	43.94 a	32.33 a	9.45 ab	2.5 b	0.73 a	3882 a
Guaçu/IZ.2	51.57 ab	16.3 a	46.0 abc	3.7 a	32.84 c	46.47 a	35.43 a	6.58 ab	4.5 ab	0.69 a	3794 a
King Grass	24.78 ab	11.8 abcde	30.7 bc	3.5 a	35.61 c	45.99 a	34.93 a	8.92 ab	2.0 b	0.68 a	3897 a
Roxo Botucatu	30.23 ab	15.4 abc	27.4 bc	3.8 a	39.13 bc	42.16 a	32.13 a	6.23 b	3.5 ab	0.62 a	3794 a
Vrukwona Africana	28.57 ab	13.4 abcde	57.0 abc	3.4 a	35.09 c	47.14 a	35.86 a	8.50 ab	2.5 b	0.56 a	3893 a

Cameroon	24.71 ab	14.1 abcde	25.1 bc	3.3 a	31.90 c	42.74 a	34.04 a	5.41 b	3.0 ab	0.63 a	3896 a
Pasto Panamá	38.95 ab	14.4 abcd	25.0 bc	3.7 a	37.89 bc	48.85 a	35.65 a	11.20 ab	2.0 b	0.46 a	3911 a
Média	3.57	11.8	44.3	3.3	37.16	47.39	34.86	8.92	3	0.58	3898

¹MS = massa seca (t/ha); DM = diâmetro médio (mm); NP = n° de perfilhos; Alt = altura da planta (m);; %MS = percentagem de matéria seca %FDA = percentagem de Fibra em Detergente Ácido; %cel = percentagem de celulose; %lig = percentagem de lignina; %cin = percentagem de cinzas; %Ntot = percentagem de nitrogênio total; PC = poder calorífico (cal/g).

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tuckey.

Os valores de FDA variaram de 42,16% a 51,38% nos genótipos Roxo Botucatu e Duro de Volta Grande, respectivamente, apesar de não haver diferenças significativas entre as médias. Em se tratando das características da qualidade da biomassa a cultivar 'Napier' obteve os maiores valores para FDA, %celulose e %lignina, (51,3, 38,7 e 10,5, respectivamente). Savioli *et al.* (2000) encontraram valores de lignina de 11,5% também para a cultivar 'Napier' e Quesada *et al.* (2005) encontraram valores de FDA acima de 50%, e lignina acima de 10%. Estes valores, aliados aos da produção de biomassa seca vêm a corroborar a capacidade que os materiais de capim-elefante estudados têm para a produção energética.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Morais *et al.*, (2009) obtendo valores de FDA acima de 40%, igualmente observado no presente trabalho. Em estudos com capim-elefante para fins forrageiros o conteúdo de FDA aumenta enquanto o de proteína diminui à medida que estes materiais permanecem no campo (Andrade *et al.* 2005). Os níveis de FDA no presente estudo foram semelhantes aos relatados por Campos *et al.* (2002), que registraram valores próximos de 42%, e por Queiroz Filho *et al.* (2000), que relataram valores de até 48%, para plantas que permanecem cerca de 100 dias no campo.

Todos os acessos apresentaram teores de lignina semelhantes, exceto para o genótipo Duro de Volta Grande, que foi significativamente menor (5,2%) neste parâmetro do que o genótipo Turrialba (13,4%). Segundo McKendry *et al.* (2002) citados por Morais *et al.* (2009), os níveis de lignina e FDA observados nos genótipos utilizados no presente estudo são considerados satisfatórios para produção de energia por combustão direta.

Os teores de celulose (%cel) apresentaram valores entre 32,0 (Três Rios) e 38,7% ('Napier'), porém não houve diferenças entre as médias. Morais *et al.*, (2009) e Quesada *et al.*, (2004) também não encontraram diferenças entre as médias, no entanto este último encontrou valores superiores quando consorciado com leguminosa. Quantidades maiores de celulose, cerca de 53% são encontradas no gênero *Eucalyptus*, principal fonte de lenha atualmente, porém não são tão superiores aos do capim-elefante.

O conteúdo de cinzas variou de 1,0 a 9,5%. O menor valor observado foi no genótipo Taiwan A-25 e maior no Duro de Volta Grande. A média foi

semelhante a encontrada por Quesada *et al.*, (2004) e Morais *et al.*, (2009), encontrando cerca de 2 a 3% de cinzas. Observou-se que os genótipos com maiores teores de cinzas correspondem aos mesmos genótipos com altos teores de FDA e baixos teores de lignina.

Os teores de nitrogênio total acumulado na planta (N_{tot}) não diferiram entre as médias, no entanto apresentaram valores entre 0,42 e 0,83% nos acessos Albano e Merckeron Comum, respectivamente. O baixo teor de nitrogênio encontrado deve-se à maior permanência da cultura no campo, além de ter crescido em solos com baixa disponibilidade de adubo nitrogenado. Estudando a influência que o intervalo de corte teria nos teores de fibras de duas variedades de capim-elefante, Brito *et al.*, (1966) chegaram a conclusão que quanto maior o intervalo de corte, maior é o teor de fibra e menor o de proteína, observando valores para colmos de 31,3% e 38,8% de fibra, respectivamente para 4 e 14 semanas, e 9,6% e 3,4% de proteína, respectivamente.

Os valores de poder calorífico (PC) variaram de 3794 a 4009 cal/g nos genótipos Roxo Botucatu e Merckeron Pinda México, respectivamente, o que está de acordo com McKendry, 2002 citados por Morais *et al.*, (2009), que diz que o poder calorífico está inversamente proporcional ao teor de cinzas e que o nível máximo de cinzas considerado crítico para o poder calorífico da biomassa é de 5%, acima, portanto dos resultados encontrados no presente trabalho, exceto para os genótipos Albano (6%) e Duro de Volta Grande (9.5%). Nestes acessos, os valores de poder calorífico foram relativamente mais baixos, concordando com McKendry, 2002.

4.3. Correlações Fenotípicas e Canônicas

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica avaliadas para os 11 caracteres são apresentadas na Tabela 08. Com relação à magnitude das correlações entre todos os caracteres avaliados, variaram de -0,5914 a 0,6356. Porém, Cruz e Regazzi (1997) apontam que o coeficiente de correlação igual a zero não implica falta de correlação entre duas variáveis, apenas reflete a ausência de relação linear entre estes caracteres avaliados.

No ambiente em estudo constatou-se correlação fenotípica positiva e significativa entre as características altura, diâmetro médio e % matéria seca,

correlacionadas com produção, indicando que genótipos altos e com maior diâmetro apresentam maior potencial para o aumento da produção. Silva *et al.*, (2007) encontraram para cana também correlações positivas entre altura e produção. Os resultados deste trabalho estão de acordo com os relatados de Daher *et al.*, (2004) e Silva *et al.*, (2008), que encontraram correlações semelhantes entre altura e produção.

A variável número de perfilho mostrou-se altamente e negativamente correlacionada com altura e diâmetro do colmo. Esses resultados indicam que quanto mais a planta perfilhar, menor a altura e o diâmetro dos colmos. O mesmo foi relatado por Silva *et al.*, (2008). Pode-se observar também que, quanto mais alta for a planta, maior será seu diâmetro do colmo.

Os caracteres %celulose e %lignina evidenciaram um grau considerado de associação com o caráter %FDA, e com poder calorífico, o que era esperado por estarem intimamente ligados. Os teores de nitrogênio total relacionaram-se positivamente com número de perfilhos, e negativamente com altura e com a maioria das variáveis da qualidade da biomassa, principalmente com os componentes fibrosos, confirmando que com o aumento nos teores de fibra, diminuem-se os teores de nitrogênio.

Tabela 08 – Coeficientes de correlações fenotípicas entre os 52 genótipos, para quatro caracteres morfoagronômicos e sete caracteres bromatológicos do capim-elefante obtidos em Campos dos Goytacazes, 2009.

Caracteres	MS	NP	ALT	DM	%MS	%CEL	%LIG	%CIN	%FDA	Ntot	PC
MS	1.0000	0.0090 ^{ns}	0.4240 ^{**}	0.3831 ^{**}	0.3198 [*]	0.0385 ^{ns}	-0.0787 ^{ns}	0.0754 ^{ns}	-0.0186 ^{ns}	0.0634 ^{ns}	-0.1255 ^{ns}
NP		1.0000	-0.5024 ^{**}	-0.5914 ^{**}	-0.0697 ^{ns}	0.2779 [*]	-0.0360 ^{ns}	-0.0451 ^{ns}	0.1961 ^{ns}	0.4415 ^{**}	-0.0130 ^{ns}
ALT			1.0000	0.5461 ^{**}	0.0295 ^{ns}	0.0187 ^{ns}	-0.1135 ^{ns}	-0.0203 ^{ns}	-0.0791 ^{ns}	-0.3798 ^{**}	-0.0660 ^{ns}
DM				1.0000	-0.1699 ^{ns}	-0.2987 [*]	-0.2092 ^{ns}	-0.0058 ^{ns}	-0.3845 ^{**}	-0.0785 ^{ns}	-0.2616 ^{ns}
%MS					1.0000	0.0990 ^{ns}	0.3612 ^{**}	-0.0007 ^{ns}	0.4327 ^{**}	-0.3357 ^{**}	0.1077 ^{ns}
%CEL						1.0000	-0.0914 ^{ns}	0.1503 ^{ns}	0.6356 ^{**}	-0.1678 ^{ns}	0.3866 ^{**}
%LIG							1.0000	-0.0474 ^{ns}	0.4658 ^{**}	-0.2773 [*]	0.3053 [*]
%CIN								1.0000	0.3149 [*]	-0.1026 ^{ns}	0.0210 ^{ns}
%FDA									1.0000	-0.3847 ^{**}	0.2696 ^{ns}
Ntot										1.0000	-0.0389 ^{ns}
PC											1.0000

MS = massa seca (t/ha); DM = diâmetro médio (mm); NP = número de perfilhos; Alt = altura da planta (m);; %MS = percentagem de matéria seca %FDA = percentagem de Fibra em Detergente Ácido; %cel = percentagem de celulose; %lig = percentagem de lignina; %cin = percentagem de cinzas; %Ntot = percentagem de nitrogênio total; PC = poder calorífico (cal/g).

** = Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste t;

* = Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste t;

^{ns} = Não significativo.

Na análise de correlação, a presença de colinearidade, decorrente de elevadas estimativas de correlações fenotípicas ou genotípicas entre as características ou combinações lineares de características, produz efeitos diversos nos procedimentos canônicos, tornando os resultados pouco precisos (Carvalho, 1995).

Assim, no presente estudo, optou-se por usar apenas os caracteres com ausência de colinearidade, sendo desta forma apropriada para uso no procedimento de correlações canônicas, por isso a característica %FDA foi retirada da análise. Tais características foram separadas em dois grupos, sendo que o grupo I foi composto pelas características produção de matéria seca, número de plantas, diâmetro médio e altura, e as do grupo II as características %matéria seca, %celulose, %lignina, %cinzas, teor de nitrogênio total e poder calorífico.

As correlações canônicas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado, demonstrando que os grupos considerados não são independentes. A correlação canônica do primeiro par canônico e também do segundo par foram elevadas, de magnitude igual a 0,6 (Tabela 09).

Em relação ao primeiro par canônico, é possível concluir que indivíduos mais produtivos e com elevado número de perfilhos tendem a apresentar maiores teores de matéria seca, celulose, lignina e nitrogênio. Portanto, a análise fundamentada nas correlações canônicas ratificou o resultado já encontrado para a maioria dos caracteres nos estudos de correlação fenotípica. Os caracteres altura e número de perfilhos mostraram-se inversamente proporcionais quando relacionados à produção.

O segundo par canônico associa plantas que perfilham menos, com menor diâmetro médio e mais altas, com altos teores de matéria seca, celulose, lignina, cinzas e alto poder calorífico, porém com menores teores de nitrogênio. Pode-se concluir e confirmar que materiais com elevado poder calorífico são encontrados onde há maiores teores de fibra e componentes ricos em carbono como a lignina e a celulose (Quesada, 2001). Daher *et al.*, (2009), estudando as correlações canônicas entre características morfoagronômicas e bromatológicas em híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milheto, também observaram que plantas com elevados teores de matéria seca e mais altas são determinantes do aumento da percentagem de celulose nas plantas. Além disso, confirma-se também que

materiais com elevados teores de fibra possuem baixos teores de nitrogênio, como descrito por Britto *et al.*, (1966).

Tabela 09 – Coeficientes da matriz dos fatores canônicos entre o grupo I e II em 52 acessos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes, 2009.

Grupos	¹ Caracteres	Fatores canônicos	
		1º	2º
I - Caracteres morfoagronômicos	MS	0.4074	0.3626
	NP	0.8105	-0.4070
	ALT	-0.5488	0.1689
	DM	-0.4368	-0.2012
II - Caracteres da qualidade da biomassa	%MS	0.2870	0.9011
	%CEL	0.2712	0.0723
	%LIG	0.0286	0.3765
	%CIN	0.0629	0.2115
	NTOT	0.6762	-0.5014
	PC	-0.0300	0.3489
	Correlação canônica*		0.6770**
χ^2		62	34
Grau de liberdade		24	15

¹MS = massa seca; DM = diâmetro médio (mm); NP = número de perfilhos; Alt = altura da planta (m);; %MS = percentagem de matéria seca %FDA = percentagem de Fibra em Detergente Ácido; %cel = percentagem de celulose; %lig = percentagem de lignina; %cin = percentagem de cinzas; %Ntot = percentagem de nitrogênio total; PC = poder calorífico (cal/g).

* Correlação entre o primeiro e o segundo par canônico.

** Significativo (P<0,01) pelo teste do qui-quadrado

Pode-se perceber que os dois pares canônicos seguiram vertentes distintas, ou seja, quando a planta perfilha mais, ela torna-se mais baixa e com diâmetro menor. Isso acarreta em plantas com baixos teores de fibras e elevados teores de nitrogênio culminando para um baixo poder calorífico. Outra vertente observa-se que, quando a planta perfilha menos, seus colmos são mais robustos e as plantas são mais altas, acarretando altos teores de fibras, baixos teores de nitrogênio e conseqüentemente elevado poder calorífico.

A acurada análise das correlações canônicas possibilita uma reflexão mais aprofundada a respeito da perspectiva de sucesso na seleção de genótipos superiores na população em estudo. Isto posto, por uma análise inicial, com fulcro no segundo par canônico, percebe-se a possibilidade de selecionar materiais com elevados teores de lignina sem a necessidade de adubação nitrogenada em solos como o de Campos dos Goytacazes para obter materiais de elevado poder

calorífico, face à magnitude das associações entre %LIG, PC e Ntot de valores respectivos 0.3764, 0.3489 e -0.5018.

Neste aspecto, a experiência do melhorista associada ao uso de procedimentos de análise genético-estatísticas adequada, como o emprego da estratégia das correlações canônicas dentre outras estratégias, torna possível a seleção de genótipos adequados para a produção de biomassa no Norte Fluminense.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A seleção de genótipos de capim-elefante com maior produção de biomassa, e mais adaptados às condições edafoclimáticas do Norte Fluminense pode resultar em elevação na capacidade de produção de biomassa. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as características morfoagronômicas e da qualidade de biomassa, estudar a relação entre as características por meio das correlações canônicas e selecionar genótipos de capim-elefante com elevada capacidade de produção de biomassa energética para o Norte Fluminense, a fim de serem utilizados em programas de melhoramento genético.

Em função dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- Materiais com elevado poder calorífico são encontrados onde há maiores teores de fibra e componentes ricos em carbono como a lignina e a celulose, e baixos teores de nitrogênio;
- Percebe-se a possibilidade de selecionar materiais com elevados teores de lignina sem a necessidade de adubação nitrogenada em solos como o de Campos dos Goytacazes para obter materiais de elevado poder calorífico;
- Os genótipos que se mostraram mais promissores para serem indicados e utilizados em programas de melhoramento genético para a produção de bioenergia foram: Napier, Guaçu I/Z.2, P-241-Piracicaba, Pasto Panamá, Cameroon e Mercker 86 - México.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akin, D. E. (1989) Histological and physical factors affecting digestibility of forages. *J. Agron.*, v.81, p.17-25.
- Alcantara, P. B.; Alcântara, V. B. G.; Almeida, J. E. (1980) Estudo de vinte e cinco prováveis variedades de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Boletim da Indústria Animal*, v.37, p.279-302, 1980.
- Amaral Júnior, A. T. do (1996). Análise Dialélica de Betacaroteno, Vitamina C, Sólidos Solúveis e Produção e Variabilidade em Cultivares de Tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Via Marcadores RAPD. Viçosa-MG Tese (Doutorado), 198p.
- Andrade, J. B. de, Ferrari Junior, E., Beisman, D. A. (2000) Avaliação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) visando o carvoejamento. In: Encontro de Eergia no Meio Rural, n.3, Annais, Campinas, SP.
- Andrade, A. C.; Fonseca, D. M. da; Lopes, R. dos S.; Nascimento Júnior, D. do; Cecon, P. R.; Queiroz, D. S.; Pereira, D. H.; Reis, S. T. (2005) Análise de crescimento do capim-elefante 'napier' adubado e irrigado. *Revista Ciência Agrotécnica*, v.29, p.415-423.
- Araújo, S. A. C. (2008) Avaliação e seleção de genótipos de capim-elefante anão para pastejo. 102p. Tese de Doutorado

- Barbosa, S.; Vide, L. C.; Pereira, A. V.; Abreu, J. C. (2007) Duplicação cromossômica de híbridos triplóides de capim-elefante e miheto. *Bragantia*, v.66, n.3.
- Bennet, H.W. (1976) Pasto Johnson, pasto alfombra y otras gramíneas para el sur humedo de los Estados Unidos. In: Hugres HD, Heath ME and Metcalfe DS (eds) *Forrages*, México, C.E.C.S.A., Cap. 29. p.321-34.
- Bezerra Neto, F.V.; Leal, N. R.; Costa, F. R.; Gonçalves, G. M.; Amaral Junior, A. T.; Vasconcellos, H. O.; Mello, M. (2006) Análise biométrica de linhagens de abóbora. *Horticultura Brasileira* v.24. p.378-380.
- Bhatti, M.B.; Mohammad, D.; Sartaj, Sultani, M.I. (1985) Effect of different inter- and intra-row spacings on forage yield and quality in elephant grass. *Pakistan Journal of Agriculture Research*, Karachi, v.6, p.107-112.
- Bogdan, A. V. (1977) Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes), *Tropical Agricultural Series*, London. 241p.
- Botrel, M. A.; Xavier, D. F.; Carvalho, M. M.; Daher, R. F.; Gomes, F. T. (1995) Caracterização morfológica e agronômica de algumas cultivares de capim-elefante. EMBRAPA-CNPGL, Juiz de Fora, 1995. 24p. (Documentos, 60)
- Botrel, M. A.; Pereira, A. V.; Freitas, V. de P.; Xavier, D. F. (2000) Potencial forrageiro de novos clones de capim-elefante *Rev. bras. zootec.*, v. 29, n. 2, p.334-340.
- Britto, D. P. P. S. de; Aronovich, S.; Ribeiro, H. (1966) Comparação entre duas variedades de capim-elefante e de 6 diferentes espaços de tempo entre os cortes das plantas. Boletim do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Centro-Sul, Rio de Janeiro, n.4, p.1681-1687

- Brunken, J.N. (1977) A systematic study of Pennisetum Sect. Pennisetum (Gramineae). *American Journal of Botany*, New York, v. 64, n.2, p.161 – 176.
- Campos, F. B. de; Lanna, D. P. D.; Bose, M. L. V.; Boin, C.; Sarmiento, P. (2002) Degradabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro/gás. *Scientia Agricola*, v.59, p.217-225.
- Carneiro, H.; Pereira, A. V.; Botrel, M. A. et al. (2002) Variabilidade no germoplasma de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) para caracteres associados à qualidade nutricional. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia.
- Carvalho S. P. (1995) Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índice de seleção sob multicolinearidade. Viçosa, (Tese doutorado). 163p
- Cóser, A. C.; Martins, C. E.; Cardoso, F. P. N. (2001) Produção de leite em pastagem de capim-elefante submetida a duas alturas de resíduo pós-pastejo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.25, n.2, p.417-423.
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J. (1997) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Ed. Viçosa: UFV, 390p.
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J. (2001) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. Ed. Viçosa: UFV, 390p.
- Cruz, C. D. (2006) Programa Genes (versão Windows); aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 175p.
- Daher, R. F.; Moraes, C. F.; Cruz, C. D. et al. (1997a) Seleção de caracteres morfológicos discriminantes em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Rev. Bras. Zootec.*, v.26, p.247-253,.

- Daher, R. F.; Moraes, C. F.; Cruz, C. D.; Pereira, A. V.; Xavier, D. F. (1997b) Diversidade morfológica e izoenzimática em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Shum.). *Rev. Bras. Zootec.* v.26, n.2, p.255-64.
- Daher, R. F.; Vázquez, H. M.; Pereira, A. V.; Fernandes, A. M. (2000) Introdução e Avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em Campos dos Goytacazes, RJ. *Rev. Bras. Zootec.* 29 (5) p. 1296-1301.
- Daher, R.F.; Pereira, A. V.; Pereira, M. G.; Ledo, F. J. da S.; Amaral Júnior, A. T. do; 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*, v. 34, n. 5, p. 1531-1535.
- Daher, R. F.; Pereira, A. V.; Pereira, M. G.; Gravina, G. de A.; Ledo, F. J. da S.; Amaral Júnior, A. T. do; Silva, F. F. da (2009) Correlações canônicas entre características morfoagronômicas e bromatológicas em híbridos interespecíficos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.) In: Congresso Brasileiro de melhoramento de Plantas. Guarapari, ES. *Annais*. DD-ROM.
- Deglise, X; Magne, P. (1987) *Biomass*. Ed. D.O. HALL e R. P. OVEREN. John Wiley & Sons Ltda.
- Delfino J. (2009) Capim-elefante nas olarias: Nova alternativa para aquecer os fornos na Baixada Campista. *Jornal O Diário*, Campos dos Goytacazes, RJ. 22 mar. Economia/Serviços. p.6.
- Dunteman, G. H. (1984) *Introduction to multivariate analysis*. Beverly Hills, SAGE. 237p.
- Embrapa (2006) Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.

- FAO. (1993) "*Yearbook of forest products: 1978 – 1993*". Food and Agriculture Organisation, Rome.
- Falconer, D. S. (1987) *Introduction to quantitative genetics*. 2. ed. London: Longman. 340p.
- Ferraris, R. (1979) Agronomic studies on elephantgrass as na agro-industrial crop. In: Australian Division of Chemical Technology Research Review 1978-1979. Melbourne: CSIRO. P. 10-22.
- Granato, L.O. (1924) *Capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.)*, São Paulo, Secretaria de Agricultura, 56p.
- Hanna, W. W. (1981) Method of reproduction in napiergrass and in the 3x and 6x allopolyploid hybrids with pearl millet. *Crop Science*, Madison, v.21, p.123-126.
- Hanna, W.W. (1999) Melhoramento do capim-elefante. In: Passos LP, Carvalho LA, Martins CE, Bressan M, Pereira AV (Eds.). *Biologia e manejo do capim-elefante*. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, p.17-28.
- Hotelling, H. (1936) Simplified calculation of principal components. *Psychometrika*, v. 18, n.29, p. 27-35.
- INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética (2009) Projeto Carvão Verde – Fazenda São Domingos – Janeiro/2009. *Biomassa & Energia*. Disponível em: http://www.inee.org.br/biomassa_carvao.asp?Cat=biomassa. Acessado em: 27/04/2009.
- IPT – Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo (1992) Análise da Pré-viabilidade econômica de aproveitamento de gramíneas forrageiras para carvoejamento e extração de proteínas. *Relatório IPT/DEES – APAT n° 30.157/92*. São Paulo, maio.

- Jacques, A.V.A. (1994). Caracteres morfo-fisiológicos e suas implicações com o manejo. In: Carvalho, M. M., Alvim, M .J., Xavier, D. F. (Eds.) *Capim-elefante: produção e utilização*. Coronel Pacheco, MG: Embrapa-CNPGL. p.31-47.
- Jank, L. (1995) Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: Peixoto, A. M.; Moura, J. C.; Faria, V. P. (eds.) In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 12., Piracicaba. *Anais...* FEALQ. Piracicaba. 1995. p.21-58.
- Jhonson R. A.; Winckern, D. W. (1988) *Applied multivariate statistical analysis*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 607p.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: con um estúdio de los climas de La Tierra*. México: Fondo de Cultura Economica, 478p.
- Lima, J.A.; Ferrari Junior, E.; Andrade, J.B. de; Ghisi, O.M.A. (2006) Avaliação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) cv Guaçu visando a produção alternativa de energia In: 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, João Pessoa, PB.
- Lista, F.N. (2008) Avaliação de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para ruminantes na região Norte Fluminense. Tese Doutorado, Campos dos Goytacazes, p.95.
- Liberato, J. R. (1985) Aplicações de técnicas de análise multivariada em fitopatologia. Dissertação de Mestrado. Viçosa, MG, 144p.
- Lopes, M. V. F. (2008) Análise multicriterial da viabilidade agrônômica de produção da gramínia capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no município de Campos dos Goytacazes, RJ, para fins energéticos. Trabalho de conclusão de curso, UCAM, Campos dos Goytacazes, RJ. 64p.
- Manara, N.T.F. (1973) Citogenética de variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 63p.

- Manly, B. F. J. (1986) *Multivariate statistical methods: a primer*. London: Chapman and Hall, 159 p.
- Mardia, K. V.; Kent, J. T., Bibby, J. M. (1979) *Multivariate analysis*. London: Academic Press, 521p.
- Mckendry, P. (2002) Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, v.83, p.37-46.
- Morais, R.F.; Souza, B. J. de; Leite, J. M.; Soares, L. H. de B.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S. (2009). Elephant Grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesq Agropec. Bras.* V. 44, n. 2, p.133-140.
- Mozzer, O. L.; Carvalho, M. M.; Enrich, E. S. (1970) Competição de variedades e híbridos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para a formação de capineiras em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronômica, v.5, p.395-403.
- Mutanen, K. (1993) Opportunities for bioenergy in power generation. *Electric Utility Congress*, Boston, Massachusetts, June 15-16.
- Olivares Gómez, E. (2002) Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão. (Tese de Doutorado) Universidade Estadual de Campinas, 412p.
- Oliveira, M. C. de (2001) Gramafante : uma nova cultivar de capim elefante para o Vale do São Francisco. Petrolina , PE : Embrapa Semi-Árido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento ; 57. 14 p.
- Ometto, J. C. (1981) *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 440p.

- Osava, M. (2007) Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil. *Agrosoft Brasil*. Disponível em: www.agrosoft.org.br/?q=node/26484. Acessado em: 27/04/2008
- Otero, J. R. (1961) *Informações sobre algumas plantas forrageiras*. 2. ed. Rio de Janeiro, SIA, 334p.
- Paciullo, D. S. C.; Deresz, F.; Aroeira, L. J. M.; Morenz, M. J. F.; Verneque, R. da S. (2003) Morfogênese e acúmulo de biomassa foliar em pastagem de capim-elefante avaliada em diferentes épocas do ano. *Pesq. Agropec. Bras.* v. 38, n.7, p.881-887.
- Pedreira, J. V. S.; Campos, B. E. S. (1975) Competição de cinco variedades de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Boletim da Indústria Animal*, v.32, p.325-329.
- Pereira, A. V. (1992) Escolha de variedades de capim-elefante. In: Peixoto A. M., Moura J. C. and Faria, V. P (ed) Simpósio sobre manejo de pastagem. 10. *Anais...* Piracicaba. p.45-62.
- Pereira, A. V. (1994) Escolha da variedade de capim-elefante, In: Simpósio Sobre Manejo de Pastagem, Piracicaba, *Anais*, Piracicaba: FEALQ p.47-62.
- Pereira, A. V.; Barra, R. B.; Abreu, J. C.; Freitas, V.; Souza, J. A. G. (1997) Protoginuous intervalin elephantgrass (*Pennisetum purpureum* Schum.). In: International Grasslands Congress. *Proceedings*, Winnipeg, v.3, p.123-126.
- Pereira, A. V. (1999) Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum.). In: Passos L. P., Carvalho L. A., Martins C. E., Bressan M., Pereira A. V. (Ed.) *Biologia e manejo do capim-elefante*. Juiz de Fora, Embrapa – Gado de Leite, p. 1 – 16.
- 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

- Inglis M. C. *Recursos genéticos e melhoramento*. Rondonópolis, p.549 – 602.
- Pereira, A. V.; Daher, R. F.; Pereira, M. G.; Ledo, F.J. da S.; Sobrinho, F. de S.; Amaral Junior, A. T.; Freitas, V. de P.; Pereira, T. N. S.; Ferreira, C. F. (2006) Análise de cruzamentos dialélicos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR. 2. Características bromatológicas. *Acta Sci. Agron.* V. 28, n. 2, p. 277-285.
- Pereira, A. V.; Machado, M. A.; Azevedo, A. L. S.; Nascimento, C. S.; Campos, A. L.; Ledo, F. J. S. (2008) Diversidade genética entre acessos de capim-elefante obtida com marcadores moleculares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.7, p.1216-1221.
- Pimentel-Gomes, F. (2000) *Curso de estatística experimental*. 14.ed. Piracicaba: Nobel, 477p.
- Queiroz Filho, J. L. de; Silva, D. S. da; Nascimento, I. S. do (1998) Produção de matéria seca de cultivares e qualidade de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.27, p.262-266.
- Quesada, D.M. (2001) Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum.) para alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Seropédica, RJ. Dissertação (Mestrado) 140p.
- Quesada, D. M.; Boddey, R. M.; Reis, V.M.; Urquiaga, S. (2004) Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. Circular Técnica 8, Seropédica, RJ
- Quesada, D.M. (2005) Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum.) com potencial

para uso energético, na forma de carvão vegetal. Seropédica, RJ. Tese (Doutorado). 65p.

Rao, C. R. (1952) Advance statistical methods in biometric research. New York: John Wiley and Sons, 389 p.

Rocha, D. (2007) Energia limpa - capim elefante pode substituir o carvão mineral. *Ambiente em foco*. Disponível em: www.ambienteemfoco.com.br/?p=3656. Acesso em: 20/05/2009.

Ruiz, T. M.; Sanchez, W. K. & Staples, C. R. (1992) Comparasion of “Mott” dwarf elephantgrass silage and corn silage for lacting dairy cows. *J. Dairy Sci.*, Champaing, 75:533-543.

Sacchet, A. M. de O. F. (1987) Estudos citogenética de algumas cultivares de *Pennisetum purpureum* Schum. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 39., 1987. *Ciência e Cultura*, v. 39, n. 7, p.744. Suplemento. Resumo.

Santana, J. R., Pereira, J. M., Ruiz, M. A. M. (1994) Avaliação de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) no sudoeste da Bahia. II-Agrossistema Itapetinga. *Rev. Bras. Zootec.*, v.23, n.4, p.507-517.

Santos, E. A. dos; Silva, D. S. da; Queiróz Filho, J. L. de (2001) Composição Química do Capim-Elefante cv. Roxo Cortado em Diferentes Alturas. *Rev. bras. zootec.*, v. 30, n.1, p.18-23.

Savioli, N. M. F. de.; Fukushima, R. S.; Lima, C. G.;Gomide, C. A. (2000) Rendimento e comportamento espectrofotométrico da lignina extraída de preparações de parede celular, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.29, n.4, p.988-996.

- Shimoya, A.; Cruz, C. D.; Ferreira, R. P. (2002) Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim-elefante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.971-980.
- Silva, D. J., Queiróz, A. C. de (2002) *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa. 235p.
- Silva, J. W. da; Soares, L.; Ferreira, P. V.; Silva, P. P. da; Silva, M. J. C. da. (2007) Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. *Acta Sci. Agron.* V. 29,n. 3, p.345-349.
- Silva, M. A.. Lira, M. A.; Santos, M. V. F. dos; Dubeux Junior, J. C. B.; Cunha, M. V. da; Freitas, E. V. de (2008) Análise de trilha de caracteres produtivos de *Pennisetum* sob corte em Itambé, Pernambuco. *Ver. Brás. Zootec.* V. 37, n. 7, p.1185-1191.
- Souza, V. C. (2005) *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas de flora brasileira, baseado em APG II* / Vinícius Castro Souza, Harri Lorenzi. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum,.
- Souza Sobrinho, F. de; Pereira, A. V.; Ledo, F. J. da S.; Botrel, M. A., Oliveira, J. S., Xavier, D. F. (2005) Avaliação agrônômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milheto *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.40, n.9, p.873-880.
- Techio, V .H.; Davide, L. C.; Pereira, A. V. (2002) Cytotaxonomy of some species and of interspecific hybrids of *Pennisetum*. *Genetics and Molecular Biology*, v.25, p.203-209.
- Trugilho, P. F.; Lima, J. T.; Mori, F. A. (2003) Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, v.9 n.1. p. 066-080.

- Valle, C.B. (2001). Genetic resources for tropical areas: achievements and perspectives. In: International Grassland Congress, 19., São Pedro. *Anais...* São Pedro:FEALQ.
- Van Soest, P. J. (1967) Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forage. *J. Anim. Sci*, v.26, p.119-128.
- Van Soest, P. J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca: Cornell University Press. 476p.
- Veiga, J.B. (1997) Utilização do capim-elefante sob pastejo In: Capim-elefante produção e utilização (Eds. Carvalho, M. M., Alvim, M. J., Xavier, D. F., Carvalho, L. de A.) 2 ed, ver. Brasília: EMBRAPA-SPI/ Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL.
- Vilela, H.; Cerize, D. (2008) Capim-elefante Paraíso na geração de energia. Disponível em: <http://www.boiapasto.com.br/capim-elefante-paraiso-na-geracao-de-energia/>. Acesso em: 08/06/2009.
- Xavier, D. F., Botrel, M. A., Daher, R. F., Gomes, F. T. And Pereira, A. V. (1995) Caracterização Morfológica e Agronômica de Algumas Cultivares de Capim-Elefante Embrapa-CNPGL. Documentos.