

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Potencial Produtivo e Eficiência da Fixação  
Biológica de Nitrogênio de Cinco Genótipos de  
Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.),  
para Uso como Fonte Alternativa de Energia**

**Rafael Fiusa de Moraes**

**2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**POTENCIAL PRODUTIVO E EFICIÊNCIA DA FIXAÇÃO  
BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO DE CINCO GENÓTIPOS DE  
CAPIM ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.), PARA USO  
COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA**

**RAFAEL FIUSA DE MORAIS**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Segundo Urquiaga**

*e Co-orientação do Professor*  
**Bruno José Rodrigues Alves**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre em Ciências**, no  
Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área de Concentração  
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2008

633.2

M827p Morais, Rafael Fiusa de, 1982-

T       Potencial produtivo e eficiência da  
fixação biológica de nitrogênio de cinco  
genótipos de capim elefante (*Pennisetum  
Purpureum Schum.*), para uso como fonte  
alternativa de energia/ Rafael Fiusa de  
Morais - 2008.

73 f. : il.

Orientador: Segundo S. U. Caballero.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de  
Agronomia.

Bibliografia: f. 60-67

1. Capim-elefante - Teses. 2. Nitrogênio -  
Fixação - Teses. 3. Energia da biomassa -  
Teses. I. Caballero, Segundo Sacramento  
Urquiaga, 1950- . II. Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Instituto de  
Agronomia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

**RAFAEL FIUSA DE MORAIS**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/2008

---

Segundo Urquiaga. Dr. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

---

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ

---

Paulo Francisco Dias. Dr. PESAGRO Rio

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação a toda minha família, composta por meus verdadeiros mestres, modelos reais de perseverança, parceria, dedicação, paciência e ética.*

*Em especial:*

*Aos meus pais Zacarias Feitosa e Ana Sátiro;  
Aos meus irmãos Marcos Fiusa e Leonardo Fiusa;  
A todos os meus familiares em especial meu tio Raimundo Nonato de Moraes*

*"Bom mesmo é ir a luta com determinação,  
Abraçar a vida com paixão, perder  
com classe e vencer com ousadia,  
pois o triunfo pertence a quem se  
atreve....."*

*Charles Chaplin*

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, que sempre iluminou meus caminhos;

Ao meu pai Zacarias Feitosa de Moraes, minha mãe Ana Sátiro Fiusa de Moraes, meus irmãos Marcos Fiusa de Moraes e Leonardo Fiusa de Moraes e minha namorada Camila Santos Barros, pelo carinho e complacência principalmente nos momentos mais complicados;

A toda minha família, especialmente meu tio...o Professor Raimundo Nonato de Moraes;

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo para realização dos meus estudos de Mestrado.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Curso de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do solo e a seus professores.

Aos Professores e pesquisadores Segundo Urquiaga, Robert Michael Boddey, Bruno J. R. Alves e Luis Henrique de Barros Soares pela orientação

À Embrapa Agrobiologia, por todo apoio de estrutura, financeiro e pessoal para a realização do trabalho.

Ao Pessoal do Laboratório de Nitrogênio (Altiberto, Roberto Grégio e Roberto Andrade), de Solos (Selmo, Flávio, Monalisa e Estagiários) da Embrapa Agrobiologia. Ao pessoal de campo da Embrapa Agrobiologia.

Aos amigos e colegas que eu conheci nos últimos 6 anos. Espero que eu consiga listar todos, e que a vida proporcione o reencontro sempre que for possível: Rogério, Alex, Fábio Freire e Carlo Freire, Renato, Cícero Cartaxo, Roberto Gabriel, Hernandes Feitosa, Bruno Juscelino, José Marcos, Diego, David, Ednaldo Araújo, Ricardo Tarré, Erika, Claudia, Roberta, Ana Paula,

A todos os companheiros do alojamento da Embrapa CNPAB.

A todos que fizeram parte deste caminho, mesmo não estando aqui presente.

**Muito obrigado!**

## **BIOGRAFIA**

Rafael Fiusa de Moraes nasceu em São Bernardo do Campo, São Paulo, no dia 28 de dezembro de 1982, iniciou suas atividades relacionadas à agropecuária no ano de 1998 quando ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Crato - Ceará, cursando o técnico em agropecuária e concluindo em 2000. Durante este período, desenvolveu algumas atividades relacionadas com agricultura, bovinocultura, caprinocultura, diversas culturas regionais e levantamentos sócio-culturais. Em 2001 prestou vestibular para o curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas na UFRRJ, e graduou-se em março de 2006. Durante o curso, trabalhou com Fertilidade do Solo, onde teve seu primeiro contato com a área de pesquisa. Em agosto de 2003, ingressou como bolsista de iniciação científica do CNPq na Embrapa Agrobiologia, sendo bolsista até março de 2006, quando concluiu a graduação. Em 2006 iniciou o Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo, como bolsista da CAPES, desenvolvendo a dissertação “Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia.”

## RESUMO

MORAIS, Rafael Fiusa de. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia.** 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

A espécie capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) está entre as gramíneas de maior capacidade de acumulação de matéria seca, possuindo também características qualitativas favoráveis para a produção de energia. O objetivo deste trabalho foi identificar genótipos de capim elefante para alto rendimento de biomassa, acúmulo de N e contribuição da Fixação biológica de Nitrogênio (FBN) e analisar a influência do cultivo nos estoques de carbono e nitrogênio em diferentes tipos de solos. Foram realizados dois estudos de campo localizados nos municípios de Anchieta-ES e Seropédica-RJ, em diferentes condições edafoclimáticas. O delineamento experimental utilizado, nos dois experimentos, foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial, em parcelas subdivididas e com quatro repetições. Os genótipos utilizados no estudo localizado em Anchieta foram: Cameroon, BAG, CNPGL F 06-3, CNPGL F 79-2 e Gramafante, e no experimento conduzido em Seropédica foram utilizados os mesmos genótipos com a substituição do genótipo CNPGL F 79-2 pelo Genótipo Roxo. A produção de matéria seca (MS) dos diferentes genótipos variou entre 39 e 47 Mg MS ha<sup>-1</sup> quando os genótipos foram cultivados em Anchieta, em 18 meses de cultivo, e entre 44 e 66 Mg MS ha<sup>-1</sup> quando cultivados em Seropédica, em 21 meses de cultivo, em três colheitas realizadas. Em relação ao N-total acumulado na parte aérea, os valores variaram entre 221 e 342 kg ha<sup>-1</sup> quando os genótipos foram cultivados em Anchieta e entre 250 e 332 kg ha<sup>-1</sup> quando os genótipos foram cultivados em Seropédica. Nos parâmetros acúmulo de N e rendimento de biomassa os genótipos que mais se destacaram foram: Cameroon, CNPGL F 06-3 e CNPGL F 79-2, seguidos pelo BAG. Em relação à contribuição da FBN, os resultados são muito promissores para todos os genótipos, nos dois locais de estudo, sendo observado valores de até 54 % para CNPGL F 06-3. A relação C/N, teores de fibra, celulose, lignina, que diz respeito à parte qualitativa do material, em geral, não foram influenciados pela diferença de fertilidade dos diferentes solos. Vale salientar que estes resultados demonstram a capacidade que os materiais de capim elefante estudados tem para produção energética. Em relação aos teores de cinzas, estes ficaram dentro dos níveis normais das plantas, abaixo de 5%, chamando apenas a atenção para as folhas, cujos valores foram sensivelmente menores. Desta forma, o capim elefante apresentou características qualitativas e quantitativas positivas para ser utilizado na produção de energia renovável, sendo os genótipos Cameron, BAG, CNPGL F 06-3 e CNPGL F 79-2 os mais indicados para serem utilizados na produção de carvão para a indústria siderúrgica.

**Palavras-chave:** Biomassa. <sup>15</sup>N. Gramínea. Bioenergia.

## ABSTRACT

MORAIS, Rafael Fiusa de. **Production potential and biological nitrogen fixation efficiency of five elephant-grass genotypes (*Pennisetum purpureum* Schum.), for use as alternative energy source.** 73p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) is one of the grasses known for its great capacity for dry matter accumulation, having also other characteristics favorable for the energy production. The objective of this study was to select elephant grass genotypes for high biomass yield, nitrogen accumulation and contribution of Biological Nitrogen Fixation (BNF), and to analyze the influence of cultivation on soil carbon and nitrogen stocks of different soils. Two studies were conducted at two sites located in Anchieta, Espírito Santo State, and Seropédica, Rio de Janeiro State, with different climate and soil conditions. The experimental design used in both experiments was factorial in randomized complete blocks, with four replicates. The genotypes used in Anchieta study site were: Cameroon, BAG, CNPGL F 06-3, CNPGL F 79-2, and Gramafante. In the experiment conducted in Seropédica, there were used the same genotypes with the replacement of genotype CNPGL F 79-2 by genotype Roxo. The dry matter production of the different genotypes ranged from 39 to 47 Mg MS ha<sup>-1</sup> when the genotypes were grown in Anchieta, after 18 months of cultivation. The values were between 44 and 66 Mg MS ha<sup>-1</sup> when grown in Seropédica, in 21 months of cultivation, over three harvests. The total nitrogen accumulated in the aerial biomass ranged from 221 to 342 kg ha<sup>-1</sup>, when the genotypes were grown in Anchieta, and between 250 to 332 kg ha<sup>-1</sup>, when grown in Seropédica. The genotype that showed the greatest N accumulation and biomass yield were: Cameroon, CNPGL F 06-3 and CNPGL F 79-2, followed by BAG. The results of the estimates of BNF contribution were very promising for all genotypes, at both study sites, and values of up to 54 % for CNPGL F 06-3 were observed. With regard to the C/N ratio, levels of fiber, cellulose, lignin, which describe biomass quality, in general, were not influenced by the difference in the fertility of the different soils. These results demonstrate the potential of elephant grass for energy production. The contents of ash were within the normal levels for the plants, below 5%, calling attention only for the leaf values, which were significantly lower. Thus, the elephant grass showed qualitative and quantitative favorable characteristics to be used as source of renewable energy, and the Cameron, BAG, CNPGL F 06-3, and CNPGL F 79-2 genotypes were the best fitted for charcoal production for usage in the steel industry.

**Key words:** Biomass. <sup>15</sup>N. Grass. Bioenergy.

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resultado da análise química de terra antes da implantação do experimento em Anchieta – ES .....	15
<b>Tabela 2.</b> Análise química do solo no momento da implantação dos tratamentos referente a este estudo.....	16
<b>Tabela 3.</b> Resultado da análise químicas dos diferentes tipos de solos estudados no momento da implantação.....	18
<b>Tabela 4.</b> Análise química do solo no momento da implantação dos tratamentos referente a este estudo.....	20
<b>Tabela 6.</b> Produção média de biomassa seca (matéria seca) de cinco genótipos de capim elefante, no 1º e 2º ciclo, cultivados em Ponta Ubú, Anchieta-ES.....	23
<b>Tabela 7.</b> Rendimento de biomassa (matéria seca) de cinco genótipos de Capim elefante, cultivados em Ponta Ubú, Anchieta-ES, no 3º ciclo e o total obtido nos 18 meses.....	24
<b>Tabela 8.</b> N total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> ), por cinco genótipos de Capim elefante, 1º e 2º ciclo em Ponta Ubú, Anchieta-ES.....	26
<b>Tabela 9.</b> N total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> ), por cinco genótipos de capim elefante, no 3º ciclo e o total obtido nos três ciclos, cultivados em Ponta Ubú, Anchieta-ES.....	27
<b>Tabela 10</b> - Matéria seca total (Mg ha <sup>-1</sup> ), N total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> ) e carbono total fixado nos três ciclos de estudo, 18 meses, por cinco genótipos de capim elefante, cultivados sob duas doses de N, em Ponta Ubú, Anchieta-ES.....	28
<b>Tabela 11.</b> Contribuição da Fixação Biológica de Nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, em três colheitas realizadas, em dezembro de 2005 (1º Ciclo), julho de 2006 (2º Ciclo) e Dezembro de 2006 (3º Ciclo), na área experimental da empresa SAMARCO em Anchieta-ES.....	29
<b>Tabela 12</b> – Quantidade de nitrogênio derivado da fixação biológica de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, em três ciclos de cultivo, em Anchieta – ES.....	30
<b>Tabela 13.</b> Variação da Abundância Natural de <sup>15</sup> N da interação significativa entre as duas fontes de variação deste estudo (Testemunha x Profundidade), na área experimental da empresa SAMARCO, em Anchieta, ES.....	30
<b>Tabela 14.</b> Relação C:N e relação Talo/Folha (T/F) da biomassa produzida por cinco genótipos de capim elefante, crescidos com 2 doses de N, nos três ciclos em estudo, em Ponta Ubú, Anchieta, ES. Dados médios de 4 repetições.....	32
<b>Tabela 16.</b> Teor de Fibra detergente ácido (FDA), lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos de cinco genótipos, de capim elefante, na colheita realizada em junho de 2005 (1º corte), cultivados na área experimental da empresa SAMARCO, município de Anchieta, E.S.....	34
<b>Tabela 17.</b> -Teores Fibra (FDA), lignina, celulose e cinzas dos cinco genótipos de capim elefante em estudo, na 1º colheita, como efeito da aplicação de duas doses de N, em Ponta Ubú Anchieta, ES.....	34
<b>Tabela 18.</b> Percentual de Fibra em Detergente Ácido (FDA) e os teores de lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos de cinco genótipos, de capim elefante, na colheita realizada em junho de 2005 (2º corte), cultivados na área experimental da empresa SAMARCO, município de Anchieta, E.S.....	35

<b>Tabela 19.</b> Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na biomassa de cinco genótipos de capim elefante, na colheita realizada em dezembro de 2005 (3º corte), na área experimental da empresa SAMARCO, Ponta Ubú, município de Anchieta, ES. ....	36
<b>Tabela 20.</b> Percentual de Fibra em Detergente Ácido (FDA) e os teores de lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos de cinco genótipos, de capim elefante, na colheita realizada em dezembro de 2006 (3º corte), cultivados na área experimental da empresa SAMARCO, município de Anchieta, E.S. ....	37
<b>Tabela 21.</b> Teores percentuais de Fibra, lignina, celulose e cinzas dos cinco genótipos de capim elefante em estudo, como efeito da aplicação de duas doses de N-Fertilizante. Ponta Ubú, Anchieta, ES. ....	37
<b>Tabela 22.</b> Resultados globais de rendimento de biomassa (matéria seca) relativos a interação entre cinco genótipos de capim elefante crescidos com dois tipos de solos. ....	38
<b>Tabela 23.</b> Rendimento de biomassa de cinco genótipos de capim elefante, cultivados na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 1º e 2º ciclo de cultivo, no município de Seropédica, R.J. ....	39
<b>Tabela 24.</b> Rendimento de biomassa e acúmulo de nitrogênio dos dois solos em estudo, na área experimental da Embrapa Agrobiologia, município de Seropédica, R.J. ....	40
<b>Tabela 25</b> Rendimento de Biomassa seca no 3º ciclo e o total obtido das 3 colheitas, relativos a interação entre cinco genótipos de capim elefante crescidos com dois tipos de solos. ....	40
<b>Tabela 26.</b> N total acumulado de cinco genótipos de capim elefante, nos dois primeiros ciclos, crescidos em dois tipos de solos. ....	41
<b>Tabela 27.</b> Resultados de acúmulo de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante, cultivados na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 1º e 2º ciclo de estudo, no município de Seropédica, R.J. ....	42
<b>Tabela 28.</b> Resultados do acúmulo de nitrogênio pela cultura de capim elefante nos dois solos em estudo, na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 1º e 2º ciclo no município de Seropédica, R.J. ....	43
<b>Tabela 29-</b> Resultados de acúmulo de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante, cultivados na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 3º ciclo de estudo, no município de Seropédica, R.J. ....	43
<b>Tabela 30.</b> Contribuição percentual da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), na nutrição nitrogenada de 5 genótipos de capim elefante, relativos ao 1º, 2º e 3º ciclo de cultivo, crescidos em dois tipos de solos, em Seropédica, R.J. ....	44
<b>Tabela 31</b> – Quantidade de nitrogênio derivado da fixação biológica de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, em três ciclos de cultivo (21 meses), em Seropédica – RJ. ....	45
<b>Tabela 32.</b> Variação da Abundância Natural de <sup>15</sup> N das diferentes testemunhas e profundidades utilizadas, na área experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ. ....	45
<b>Tabela 33-</b> Contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) estimado pelo balanço de N total no sistema solo-planta em 05 genótipos de Capim Elefante cultivados num Argissolo, durante 21 meses (3 cortes) em Seropédica-RJ. ....	46
<b>Tabela 34-</b> Contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) estimado pelo balanço de N total no sistema solo-planta em 05 genótipos de capim elefante cultivados num Planossolo, durante 21 meses (3 cortes) em Seropédica-RJ. ....	47

<b>Tabela 35-</b> Estoque de carbono em dois solos cultivados com cinco genótipos de capim elefante durante 21 meses em Seropédica-RJ (Profundidade 0-80 cm) .....	48
<b>Tabela 36.</b> Relação C:N e relação talo-folha da parte aérea de cinco genótipos de Capim elefante e das duas ordens de solos, no 1º e 2º ciclo de estudo em Seropédica-RJ. ....	50
<b>Tabela 37.</b> Relação C:N e relação talo-folha da parte aérea de cinco genótipos de Capim elefante e das duas ordens de solos, no 3º ciclo de estudo em Seropédica-RJ. ....	50
<b>Tabela 38.</b> Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita na biomassa da interação entre cinco genótipos de capim elefante, no 1º ciclo cultivados em dois tipos de solos, em Seropédica-RJ. ....	51
<b>Tabela 39.</b> Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita na biomassa de cinco genótipos de capim elefante, em Seropédica-RJ. ..	52
<b>Tabela 40.</b> Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita da biomassa de cinco genótipos de capim elefante, cultivados em dois tipos de solos em Seropédica-RJ. ....	52
<b>Tabela 41.</b> Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita na biomassa da interação entre cinco genótipos de capim elefante, no 2º ciclo cultivados em dois tipos de solos, em Seropédica-RJ. ....	53
<b>Tabela 42.</b> Teores de nutrientes em colmos de capim elefante após a aplicação dos diferentes tratamentos.....	54
<b>Tabela 43.</b> Resultados globais do número de hectares necessários na substituição do carvão mineral total utilizado numa indústria siderúrgica pela biomassa de cinco genótipos de capim elefante crescidos em dois tipos de solos. ....	59

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 Energia da Biomassa. ....	4
2.2 O Capim Elefante como uma Alternativa de Energia Renovável .....	4
2.3 Características dos Genótipos mais Utilizados para Uso Energético .....	5
2.3.1 Cameroon .....	6
2.3.2 Gramafante .....	6
2.3.3 CNPGL F 06-3 e CNPGL F 79-2 .....	6
2.3.4 Bag.....	6
2.3.5 Roxo .....	7
2.4 Extração de Macronutrientes em Capim Elefante .....	7
2.5 Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio no Capim Elefante.....	9
2.6 Balanço de N-Total do Sistema Solo-Planta .....	11
2.7 Técnica de Abundância Natural de <sup>15</sup> N .....	11
2.8 O Carbono do Solo e sua Importância na Dinâmica de Nutrientes de Solos Tropicais .	12
2.9 A Ciclagem de Nutrientes.....	13
2.10 O Carbono, a Agricultura e o Meio Ambiente. ....	13
2.11 Importância da FBN para o Seqüestro de Carbono .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Seleção de Genótipos de Capim elefante ( <i>Pennisetum purpureum schum.</i> ) para Alta Produção de Biomassa e Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) sob Diferentes Condições de Manejo. EXPERIMENTO I.....	15
3.1.1 Tratamentos e delineamento experimental.....	15
3.1.2 Implantação e condução do experimento .....	15
3.1.3 Produção de matéria seca e N-total acumulado.....	15
3.1.4 Quantificação da fixação biológica de nitrogênio .....	16
3.1.5 Relação carbono/nitrogênio (C/N) e relação talo/folha (T/F) .....	17
3.1.6 Análise de fibras .....	17
3.1.7 Análise estatística .....	18
3.2 Balanço de C e N no Sistema Solo-Planta com Cinco Espécies de Capim elefante Cultivados em Seropédica- RJ. EXPERIMENTO II.....	18
3.2.1 Implantação dos tratamentos do experimento. ....	18
3.2.2 Preparo do solo e adubação .....	18
3.2.3 Procedimentos para análises laboratoriais.....	19
3.2.4 Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio.....	19
3.2.5 Balanço de nitrogênio no sistema solo/planta .....	20
3.2.6 Balanço de carbono do sistema solo/planta.....	21

3.2.7	Lavado da biomassa.....	21
3.2.8	Secagem de biomassa de capim elefante para fins energéticos.....	22
3.2.9	Relação C:N e Relação T/F .....	22
3.2.10	Análise de fibras .....	22
3.2.11	Análise estatística .....	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4.1	Seleção de Genótipos de Capim elefante ( <i>Pennisetum purpureum schum.</i> ) para Alta Produção de Biomassa e Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) sob Diferentes Condições de Manejo. EXPERIMENTO I.....	23
4.1.1	Rendimento de biomassa .....	23
4.1.2	Nitrogênio total acumulado .....	26
4.1.3	Contribuição da FBN na cultura do capim elefante .....	28
4.1.4	Relação carbono/nitrogênio e relação talo-folha .....	31
4.1.5	Teores de fibra (FDA), celulose, lignina e cinzas. ....	33
4.2	Balanço de Carbono e Nitrogênio no Sistema Solo-Planta em Cinco Espécies de Capim elefante Cultivados em Diferentes Tipos de Solos. EXPERIMENTO II.....	38
4.2.1	Rendimento de biomassa .....	38
4.2.2	Nitrogênio total acumulado pela cultura .....	41
4.2.3	Contribuição da fixação biológica de nitrogênio no sistema solo-planta .....	43
4.2.4	Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta .....	46
4.2.5	Balanço de carbono no sistema solo.....	48
4.2.6	Relação C/N e relação talo-folha.....	49
4.2.7	Teores de fibra (FDA), lignina, celulose e cinzas .....	51
4.2.8	Redução do conteúdo de metais por lavado da biomassa.....	54
4.2.9	Secagem de biomassa de capim elefante para fins energéticos.....	55
5.	CONCLUSÕES .....	57
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de material energético alternativo através de biomassa vegetal representa hoje um dos grandes desafios para a pesquisa, já que a continuação da queima desenfreada de petróleo, além de ser finita, contribui para o efeito estufa que ameaça o equilíbrio do clima da terra. Como a queima de biomassa somente recicla CO<sub>2</sub> que foi retirado da atmosfera pela fotossíntese tudo indica que, em longo prazo, esta será uma das alternativas energéticas mais seguras (Schemer et al., 2008; Cowie et al., 2007).

O carvão vegetal brasileiro é responsável por cerca de um terço da produção mundial deste energético (FAO, 1993). Os produtos da cana-de-açúcar contribuem com aproximadamente 13% da produção primária de energia do país. O uso da biomassa sucroalcooleira distingue o Brasil como detentor do mais importante programa de geração renovável de energia do planeta. O álcool carburante, apesar dos últimos percalços, ainda atende a cerca de 32% do consumo de energia de veículos leves. Como exemplos semelhantes no exterior podem-se citar ações da International Energy Agency da Organização Econômica de Cooperação para o Desenvolvimento (IEA - OECD) e do Painel Intergovernamental de Mudanças Climática das Nações Unidas (IPCC- ONU). O primeiro tem inúmeros projetos de desenvolvimento da energia de biomassa e o segundo conseguiu a aprovação das Nações Unidas no relatório que prevê o uso crescente de biomassa no mundo. A tendência histórica nos países desenvolvidos foi substituir combustíveis derivados de biomassa por fósseis (Nakicenovic et al., 1993). Há entretanto, um renovado interesse desses países na biomassa energética que aponta uma participação maior da biomassa na matriz primária de energia no futuro próximo (Johansson et al., 1993; IPCC, 1995). Biomassa tem sido usada, por exemplo, na geração de eletricidade e no programa gasohol nos EUA (Robertson e Shapouri, 1993), no PROALCOOL no Brasil (Goldemberg et al., 1993), no aquecimento distrital na Áustria e Dinamarca e em outros países.

O capim elefante geralmente é uma planta altamente responsiva ao fertilizante nitrogenado e todos os estudos nele realizados até agora visaram somente o enriquecimento desta forrageira em proteína, através da adubação nitrogenada, para um ganho de peso mais rápido de bovinos e um maior aproveitamento dos mesmos. Nos últimos anos, foram desenvolvidas novas técnicas de se utilizar biomassa de capim elefante como fonte de energia alternativa, e neste sentido, um novo rumo deve ser dado em relação às características que se deseja obter da planta. Não mais importa uma planta rica em proteína para a alimentação de bovinos, e sim uma planta que seja rica em fibras e lignina, aliada a alta produção de biomassa, para que a biomassa a ser utilizada com fins energéticos tenha boa qualidade.

Tratando-se de uma espécie de alta produção, deve-se considerar que as necessidades de nutrientes estão relacionadas com o potencial produtivo, por isso a importância do solo estar corrigido e adubado corretamente. Deve-se ter em conta, que o capim elefante responde a doses crescentes de nitrogênio, comprovado, por exemplo, por Mistura et al. (2006), onde foram encontradas respostas do capim elefante até as doses de 400 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de nitrogênio, em termos de produção de forragem.

Esta resposta crescente do capim elefante à adubação nitrogenada deve-se ao seu melhoramento ter sido sempre feito com este intuito. Se a seleção dos genótipos for feita em solos de baixa fertilidade natural (pobre em N) e com altos rendimentos de matéria seca, associando a esta característica a contribuição da FBN na cultura em questão, pode tornar possível o estudo de fontes alternativas de energia a partir de capim elefante.

Neste contexto deve-se inserir a importância do protocolo de Quioto. Este tratado estabelece, aos países poluidores, reduções das emissões de gases causadores do efeito estufa. Esta é uma questão fundamental para a sobrevivência de países no futuro, pois as fontes

fósseis são finitas e poluidoras do meio ambiente, contribuindo com o aumento do efeito estufa, ao contrário de fontes renováveis de energia, que no máximo, retornam a atmosfera o CO<sub>2</sub> que retiraram através da fotossíntese.

Com isso, o problema da demanda energética vem se tornando uma preocupação mundial. Muitos países vêm buscando alternativas ao uso de combustíveis fósseis, devido principalmente a três motivos: A diminuição pela dependência do petróleo (principalmente) e derivados, pelo fato de serem fontes finitas de energia, as preocupações com o meio ambiente; e o ganho econômico que os mesmos poderão ter, quer seja por produtos valorizados por não serem degradadores do meio ambiente, quer seja por créditos conseguidos através do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), previsto no Protocolo de Quioto (Kraxner et al., 2003; Quesada, 2005). Nesse contexto a produção de material energético alternativo através de biomassa vegetal representa hoje um desafio para a ciência, e para os países de um modo geral, principalmente os em desenvolvimento (Fike et al., 2006; Raison et al., 2006; Monti et al., 2007).

A cultura de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) é altamente eficiente na fixação de CO<sub>2</sub> (gás carbônico) atmosférico durante o processo de fotossíntese para a produção de biomassa vegetal. Esta característica é típica de gramíneas tropicais que crescem rapidamente e otimizam o uso da água do solo e da energia solar (Lemus et al., 2002; Urquiaga et al., 2004). Por ser uma espécie de rápido crescimento o capim elefante apresenta um alto potencial para uso não apenas como fonte alternativa de energia, senão também para a obtenção de carvão vegetal usado na produção industrial de ferro gusa. 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 para o seqüestro de C (carbono) no solo (Urquiaga et al., 2004). Outra característica importante do capim elefante, no que diz respeito a possibilidade de seu uso para a produção de energia alternativa, é a semelhança que o mesmo apresenta em relação ao bagaço de cana-de-açúcar, que tem em sua composição, 65% de fibras e 35% de material não fibroso, sendo o teor de fibras fundamental para a produção de carvão. Ainda existem outras aplicações que a biomassa produzida por esta espécie pode oferecer, como a queima direta da biomassa em olarias (Mazzarella, 2001), gaseificação da biomassa por meio da pirólise (Smith et al., 2005) e a própria utilização da biomassa como fonte de esqueletos de carbono (Quesada, 2005; Samson et al., 2005). De fato, o ganho primário da utilização desta espécie, e de outras gramíneas como fonte de energia alternativa, é a própria potencialidade de acumulação de biomassa que estas espécies apresentam (Monti et al., 2007), o qual encontrou por meio de uma análise econômica, viabilidade financeira em gramíneas cultivadas em diferentes cenários da Itália, com o propósito de obtenção de energia através do uso da biomassa.

Nos últimos anos o petróleo e a desordem empresarial e institucional nacional têm provocado uma forte instabilidade, naquele que pode representar um dos maiores programas de geração de empregos (cerca de 700.000 empregos diretos) e de seqüestro de carbono no setor energético mundial. O CO<sub>2</sub> atmosférico é a fonte de C da planta para seu crescimento, utilizado através do processo fotossintético. Pode-se considerar que esta fonte de CO<sub>2</sub> é ilimitada, e, por isso, a acumulação de biomassa pelas plantas dependerá apenas de outros fatores que afetam o crescimento vegetal, destacando-se a disponibilidade de nutrientes minerais, as condições físicas e químicas do solo, a disponibilidade de água e adequada temperatura. Relatos de pesquisa mostram que a produção anual de biomassa seca da cultura de capim elefante pode superar 100 Mg ha<sup>-1</sup>, desde que genótipos eficientes sejam utilizados e condições próximas das ideais sejam garantidas (Urquiaga et al., 2004). Pesquisas com vários capins forrageiros mostraram também possibilidades semelhantes cobrindo até 40% da suas necessidades de N através da associação com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>. Como até então, o melhoramento de capins sempre visou finalidades forrageiras que necessitam teores elevados

de proteína e baixos níveis de fibra para ter boa qualidade como alimento animal, a mudança no rumo da seleção ou melhoramento de genótipos para fontes bioenergéticas se faz necessária. Neste caso, há a necessidade de um elevado teor de celulose sem necessariamente conter altos teores de proteína. Neste sentido a redução ou eliminação completa do adubo nitrogenado na produção de biomassa além de aumentar o balanço energético, ainda reduz os custos de produção apresentando ainda melhores possibilidades. Tudo isto, vislumbra a possibilidade do uso de capim elefante como fonte de energia renovável.

A hipótese científica estabelecida para esse estudo foi a de que o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) possui alto potencial de produção de biomassa e fixação biológica de nitrogênio, para uso como fonte de energia alternativa.

Os objetivos do estudo foram:

- a) Avaliar a resposta de rendimento de biomassa de cinco genótipos de capim elefante a dois níveis de adubação nitrogenada.
- b) Avaliar a contribuição da FBN em cinco genótipos de capim elefante cultivados em diferentes solos, através das técnicas de balanço de N-total e pela técnica de abundância natural de  $^{15}\text{N}$ .
- c) Reduzir ao máximo os teores de nutrientes da biomassa produzida por esta espécie, para produção de energia alternativa.
- d) Avaliar o impacto da cultura no balanço de carbono e nitrogênio no solo.
- e) Avaliar a qualidade da biomassa vegetal produzida pela cultura através da relação C:N e conteúdos de fibra, celulose, lignina e cinzas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Energia da Biomassa.**

A importância da biomassa como objeto de estudo tornou-se inegável na sociedade moderna (Danalatos et al., 2007; Ravindranath et al., 2006, Quesada, 2005). No Brasil, segundo dados do balanço energético nacional brasileiro (BEM, 2006), os recursos da biomassa respondem com cerca de 29,7% da oferta interna total de energia primária, superando inclusive toda a produção nacional de combustíveis fósseis (26,8%). A tendência histórica nos países desenvolvidos foi substituir combustíveis derivados de biomassa por fósseis (Nakicenovic et al., 1993). Há entretanto, este renovado interesse na biomassa energética que aponta uma participação maior da biomassa na matriz primária de energia no futuro próximo (Johansson et al., 1993; IPCC, 1995). Biomassa tem sido usada, por exemplo, na geração de eletricidade e no programa gasohol nos EUA (Robertson e Shapouri, 1993), no PROALCOOL no Brasil (Goldemberg et al., 1993), no aquecimento distrital na Áustria e Dinamarca e em outros países.

O Brasil tem todas as características necessárias para aumentar ainda mais sua produção comercial de biomassa energética, como já ocorre com etanol, carvão vegetal e lenha, através de plantações. O desmatamento ocorrido 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 no 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 cogeração de energia elétrica nos setores de papel, celulose, açúcar e álcool, produção de etanol e carvão vegetal de florestas plantadas. O uso de biomassa energética aumenta a oferta de empregos e a riqueza no campo, reduz o gasto de divisas estrangeiras na importação de petróleo e contribui para reduzir o efeito estufa ao substituir combustíveis fósseis.

### **2.2 O Capim Elefante como uma Alternativa de Energia Renovável**

A utilização do capim elefante é bastante difundida na alimentação de animais como forragem, sendo o seu estudo para uso energético ainda incipiente. Estudos de aspectos econômicos para esse fim são praticamente inexistentes. 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 produção de pasta celulósica, mobiliária e uso na construção civil, alternativas à madeira passaram a serem observadas mais cuidadosamente, entre elas o uso do capim elefante. O capim elefante é uma monocotiledônea e como tal, apresenta o colmo como uma parte fibrosa, mais dura, que forma a casca e uma medula com feixes vasculares. Sua estrutura morfológica é bastante semelhante à do bagaço de cana-de-açúcar, representando a seguinte composição: 65% de fibras e 35% de material não fibroso e, segundo Kauter et al. (2006), a biomassa de plantas que apresentam teor de fibras acima de 30% já pode ser adaptadas para produção de energia. Quesada (2005) em experimentos conduzidos em solos de baixa fertilidade, obteve altas produtividades de biomassa com teores de fibras próximos de 55% e 50 % em colmos e folhas respectivamente. Filho et al. (2000), estudando a qualidade do capim elefante cultivar Roxo em diferentes idades de corte, encontraram valores percentuais de 48% para Fibra em Detergente Ácido (FDA), aos 100 dias de cultivo, e Campos et al (2002) encontraram valores percentuais de 41% para FDA, aos 105 dias, e de 37% e 5% respectivamente para celulose e lignina. Estes

resultados demonstram que a qualidade da biomassa é dependente do manejo a ser adotado na cultura, principalmente o intervalo entre cortes (Quesada et al., 2004) e a disponibilidade de nutrientes (Mistura et al., 2006; Andrade, et al 2005). Segundo Quesada (2005) esses percentuais são mais baixos que os de algumas plantas utilizadas para a mesma finalidade, como Eucalipto por exemplo, mas quando inserida a produtividade e a quantidade de cortes por ano no contexto, o capim elefante leva grande vantagem, pois o Eucalipto leva sete anos para ser cortado, e o capim elefante, nesse manejo, pode ser cortado até 14 vezes (2 cortes/ano), superando substancialmente o Eucalipto em produtividade, compensando assim um menor percentual de lignina.

A energia da biomassa nada mais é do que a energia solar armazenada através do metabolismo da planta pela fotossíntese (Taiz & Zeiger.,1998). Isto significa que quanto maior for o crescimento da massa vegetal num período curto de tempo, mais eficiente será o aproveitamento da energia solar pela planta. Neste sentido, as gramíneas forrageiras apresentam crescimento mais acelerado que outras fontes vegetais, como a madeira. De fato, o ganho primário da utilização desta espécie, e de outras gramíneas como fonte de energia alternativa, é a própria potencialidade de acumulação de biomassa que estas espécies apresentam (Danalatos., et al 2007; Monti et al., 2007).

Schemer et al. (2008) em estudos com *Panicum virgatum* para obtenção de etanol a partir da celulose contida na biomassa, baseou-se numa produtividade média de 8,15 Mg.ha<sup>-1</sup>. Este rendimento está acerca de 75% menor do obtido por Quesada (2005), que obteve uma média de 35 Mg. MS.ha<sup>-1</sup> em estudos com capim elefante. Ainda vale salientar que na cultura de capim elefante, é possível alcançar um balanço energético de até 21,3 (Samson et al .,2005) e nos estudos realizados por Schemer et al (2008) este alcançou 5,4.

Lemus et al. (2002) em estudos com 20 cultivares de *Panicum virgatum*, obteve uma média de 9 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano de biomassa com aplicação de 100 kg de N/ha, rendimentos que também podem ser considerados bem abaixo dos obtidos com capim elefante por Quesada (2001) e Quesada (2005). Botrel et al (2000), estudando novos clones de capim elefante, dentre eles Cameroon, CNPGL 91 F27-01 e CNPGL 91 F06-03, encontraram produtividade média anual de 31, 43 e 37 Mg.MS.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> respectivamente. Danalatos et al. (2007) trabalhando com *Miscanthus sinensis* sob duas doses de N fertilizante (50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup>), observaram que não houve resposta significativa a estes tratamentos, obtendo uma produtividade média de 27 Mg.MS.ha<sup>-1</sup> em 270 dias de cultivo. Quesada (2005) encontrou em oito meses de cultivo, valores de até 30 Mg.MS.ha<sup>-1</sup>., em genótipos Cameroon e Gramafante sem a aplicação de N-fertilizante.

Diante das características desejáveis do capim elefante para uso energético, novos estudos vêm sendo desenvolvidos para aprimorar o uso da biomassa desta espécie como forma alternativa de energia, e neste sentido, um novo rumo deve ser dado em relação às características que se deseja obter da planta (Samson et al., 2005). Não mais interessa uma planta rica em proteína para a alimentação de bovinos, e sim a planta ideal para esta finalidade deve ser rica em fibras e lignina, de alta relação C:N, aliada a alta produção de biomassa associada a fixação biológica de nitrogênio (FBN), para que o produto que se queira produzir deste material seja de boa qualidade e com mínimo consumo de energia fóssil (Samson et al., 2005; Quesada, 2005; Urquiaga et al., 2004; Lemus et al., 2002).

### **2.3 Características dos Genótipos mais Utilizados para Uso Energético**

No Brasil, a introdução do capim elefante ocorreu em 1920 (Sacchet et al., 1987), sendo hoje largamente conhecido em todo o país, por meio de dezenas de genótipos. Trata-se de uma gramínea perene, atingindo mais de cinco metros de altura, formando densas touceiras. Estas características, aliadas à sua alta rusticidade, fácil multiplicação, resistência considerável à seca e ao frio, bom valor nutritivo e boa palatabilidade, justificaram a sua

grande aplicabilidade na alimentação de animais e nos viabiliza ainda mais a sua indicação como uma espécie com alto potencial energético.

### **2.3.1 Cameroon**

A introdução dessa cultivar no Brasil ocorreu na década de 60 (Faria et al., 1970) e só recentemente seu uso nas fazendas para alimentação de ruminantes tem sido bastante disseminado. Os estudos de adaptação, envolvendo o genótipo Cameroon em diversas regiões do Brasil, são relativamente escassos, e os resultados disponíveis desses estudos, principalmente na região Sudeste, nem sempre justificam sua rápida disseminação entre produtores. Pesquisas voltadas à pecuária, conduzidas na região Sudeste por Alcântara et al. (1980); Gonzalez (1980) e Mozzer (1986) mostram existirem outras cultivares com maior desempenho forrageiro, principalmente no que diz respeito à produção de forragem. Porém, em outras regiões do país, apesar das poucas informações disponíveis, os trabalhos comparando cultivares de capim elefante, conduzidos na região nordeste (Santana et al., 1989) e na região sul (Vatterle & Salerno., 1983) evidenciam o potencial dessa cultivar. Quesada (2005) avaliou a adaptação deste genótipo para uso energético em diferentes condições edafoclimáticas do país, e este genótipo se apresentou como um dos mais promissores para uso como fonte de energia alternativa.

### **2.3.2 Gramafante**

O genótipo Gramafante foi introduzido no Brasil na região do Vale do Rio São Francisco por volta da década de 60, precedido de grande divulgação, muitas vezes superestimando-se as características e os benefícios que a referida gramínea poderia possuir e proporcionar aos animais. Levou-se a público ser o capim Gramafante um híbrido resultante do cruzamento das espécies *Pennisetum purpureum* com *Paspalum* sp., obtido em 1965 Sacchet et al., 1987. Recentemente têm sido muito estudado nas pesquisas com energia pelo alto potencial de produção e pelas características qualitativas que possui para tal finalidade, (Quesada, 2005). Seu elevado índice de perfilhamento eleva também o potencial de produção da biomassa, que é de extrema necessidade quando estudada para fins energéticos.

### **2.3.3 CNPGL F 06-3 e CNPGL F 79-2**

Estes genótipos são resultados de um trabalho de seleção entre milhares de cruzamentos realizados na Embrapa CNPGL (Centro Nacional de Pesquisas em Gado de Leite). Estes genótipos caracterizam-se pela rapidez de crescimento pós corte e grande capacidade de lançamento de perfilhos. Além destas vantagens, possui rápida expansão do diâmetro da touceira. Outros fatores positivos são o excelente poder germinativo dos colmos, possibilitando a implementação de experimentos sem falhas, além da boa aceitabilidade pelos animais. Para fins energéticos, estudos de Quesada (2005) e Morais et al. (2007) mostraram o alto potencial qualitativo e quantitativo da biomassa destes genótipos.

### **2.3.4 Bag**

Este genótipo mostrou alto potencial produtivo para forragem picada verde ou conservada (Jacques, 1990), e para uso energético devido ao seu alto teor de fibras, quando manejado adequadamente para tal finalidade (Quesada., 2005). Este genótipo apresenta crescimento mais acelerado do que outros genótipos.

Existem poucas informações a respeito deste genótipo em relação à aplicabilidade dele em sistemas de produção intensiva de leite ou para uso energético. Dados obtidos em experimentos exploratórios, indicam para uma produção de matéria seca potencialmente elevada com valores de até 25 Mg MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Quesada., 2005). Do total desta biomassa mais de 60% de sua biomassa são colmos, que por sua vez por possuir um maior teor de fibras, possui um maior valor energético.

### 2.3.5 Roxo

Entre as cultivares de capim elefante estudadas por Queiroz Filho et al. (1995), a cultivar Roxo apresentou melhor relação lâmina/colmo aos 60 dias, com valores em torno de 1,43, e Xavier et al. (1995) obteve 1,66. Apresenta também alto potencial de produção, tanto para aplicabilidade leiteira como para uso energético. Recentemente em estudos conduzidos por Quesada (2005), avaliando o potencial de seu uso energético deste genótipo, observou boas características qualitativas da biomassa, embora o potencial de produção tenha sido um pouco menor do que os genótipos Bag e Cameroon, por exemplo, provavelmente pelo fato de que seu potencial de perfilhamento é relativamente menor do que os outros genótipos deste estudo (Queiroz Filho et al. 1995). Além disso o benefício obtido pelo processo de fixação biológica de nitrogênio associado a este genótipo é relativamente menor do que nos outros estudados (Leite et al., 2007).

### 2.4 Extração de Macronutrientes em Capim Elefante

O capim elefante é reconhecidamente uma das gramíneas forrageiras de mais alto potencial produtivo, sendo então de elevada extração de nutrientes, principalmente os macronutrientes, mais ainda quando é utilizado para corte, como é o caso do presente estudo. Entre as gramíneas tropicais, o capim elefante se sobressai pela alta produtividade e qualidade da forragem produzida. A produtividade das pastagens brasileiras, além de baixa, é marcadamente estacional, sendo o nitrogênio e o fósforo os elementos que mais limitam a produção, e além desses, o potássio também se reveste de importância muito grande, especialmente quando se trata de forrageira com alta capacidade de produção de biomassa, e quando se trata de forragem que é colhida e toda retirada da área de produção como é o caso do manejo realizado nesse estudo (Quesada, 2005).

Vicente-Chandler et al. (1974), observaram remoções de 338 kg de N, 72 kg de P, 565 kg de K, 108 kg de Ca e 71 kg de Mg  $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , para uma produção de 28,8 Mg MS  $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , quando o capim elefante (cv. Napier) foi cortado a cada 60 dias e adubadas com 448 kg de N, 72,8 kg de P e 448 kg de K  $\text{ha}^{-1}$ .

Quesada (2005) avaliou a composição química inorgânica de quatro genótipos de capim elefante que variou entre: Potássio (K), de 0,54 a 1,12 %; Cálcio (Ca), de 0,32 a 0,54 %; Magnésio (Mg), de 0,18 a 0,29%; Fósforo (P), de 0,08 a 0,19%, e observou um acúmulo dos nutrientes na biomassa destes genótipos de até 310 kg de K  $\text{ha}^{-1}$ , 41,4 kg de P  $\text{ha}^{-1}$ , 79,2 kg de Mg  $\text{ha}^{-1}$ , 167 kg de Ca  $\text{ha}^{-1}$  e 121 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ .

Gallo et al. (1974) encontraram a seguinte composição química para a biomassa produzida pelo capim elefante: Potássio (K), de 1,84 a 3,39%; Cálcio (Ca), de 0,43 a 0,67 %; Magnésio (Mg), de 0,17 a 0,30%; Fósforo (P), de 0,161 a 0,249% ; Enxofre (S), de 0,102 a 0,154% e Nitrogênio (N), de 1,96 a 2,63%.

As deficiências nutricionais limitantes ao estabelecimento e produção de capim elefante tem sido associadas a fatores relacionados com acidez do solo, particularmente toxidez de alumínio e baixa disponibilidade de cálcio e magnésio, e a deficiência generalizada de fósforo. Outros nutrientes, como nitrogênio, potássio e enxofre podem limitar o estabelecimento de gramíneas.

Dentre os diversos macronutrientes essenciais ao desenvolvimento e crescimento das plantas, se sobressai o nitrogênio, pelas suas funções relevantes na produção e síntese de aminoácidos. Apresenta-se em quantidades insuficientes na quase totalidade dos solos brasileiros, estando predominantemente ligado aos compostos orgânicos (98% do total). Como componente essencial da proteína, encontra-se nos resíduos de plantas, de animais e de microrganismos (Cruz et al., 1993). Como o N do solo apresenta-se principalmente na forma orgânica, é necessário, para a sua liberação e absorção pelas plantas, que haja mineralização,

processo pelo qual o nutriente se torna disponível para a absorção pelas plantas, e que envolve a participação de microrganismos.

O nitrogênio é constituinte da estrutura de proteínas e de ácidos nucleicos, sendo absorvido pelas raízes na forma de nitrato e amônio. Enquanto a maior parte do amônio tem de ser incorporada aos compostos orgânicos das raízes, o nitrato é móvel no xilema, podendo ser armazenado nos vacúolos das raízes ou das folhas. Porém, para o nitrato ser incorporado aos compostos orgânicos, necessita ser reduzido à amônia, mediado pelas enzimas nitrato redutase e nitrito redutase, sendo a atividade da primeira marcadamente reduzida em plantas deficientes em molibdênio.

Segundo Magalhães et al. (2006), quando o nitrogênio é suprido em quantidades insuficientes, o crescimento da planta fica comprometido, sendo mobilizado nas folhas mais velhas e translocado para as partes em crescimento, aparecendo como conseqüência a clorose e senescência das folhas mais velhas. Com um elevado suprimento de nitrogênio, a proporção de N solúvel, aminoácidos, amidas e nitratos tende a elevar-se, principalmente nas folhas, não significando necessariamente aumento no teor de proteínas, mas sim aumento no teor de N total e de “proteína bruta”.

A literatura sobre o efeito da adubação nitrogenada em capim elefante é vasta, e tem mostrado efeitos pronunciados na produção de matéria seca e proteína bruta. Entretanto, para que esses efeitos se evidenciem, há necessidade de que outros fatores, relativos a clima, solo, vegetação, etc., não sejam limitantes ao crescimento da planta. Quando os fatores citados não são limitantes, pode-se afirmar que a produtividade do capim elefante é controlada pelo fornecimento de nitrogênio (Monteiro et al., 1994).

O fósforo ocorre nas plantas em quantidades menores do que o nitrogênio, o potássio e o cálcio. É um elemento que desempenha papel fundamental no armazenamento e transferência de energia pelas plantas, na atividade de membranas e na transmissão de caracteres hereditários (Malavolta et al., 1986), além de ser constituinte de uma série de compostos vitais ao metabolismo de vegetais. É um elemento móvel nos tecidos das plantas, sendo parte essencial de diversos açúcares envolvidos na fotossíntese, respiração, fixação biológica de nitrogênio e outros processos metabólicos, além de fazer parte de nucleotídeos e de fosfolípidios presentes nas membranas. Desempenha papel importante no metabolismo energético, devido à sua presença em ATP, ADP, AMP e pirofosfato.

Segundo Moreira et al. (2006), um dos maiores problemas no estabelecimento e manutenção das pastagens nos solos brasileiros (especificamente Latossolos e Argissolos, por serem os que mais predominam no território brasileiro), reside nos níveis extremamente baixos de fósforo disponível e total apresentados. Soma-se à pobreza natural em fósforo dos nossos solos, a alta capacidade de adsorção desse elemento, em conseqüência da acidez e teores elevados de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio do solo. É natural que, em tais circunstâncias, a adubação fosfatada seja necessária, contudo, a relação entre os custos de produção e o valor do produto animal ante o tempo requerido para o retorno na pecuária, bem como as alternativas agrícolas para o uso do solo, impõem sérias restrições aos maiores investimentos na adubação de pastagens (Lobato et al., 1986). Daí a necessidade de se buscar combinações adequadas de espécies forrageiras e doses, fontes e métodos de adubação fosfatada.

A produtividade das pastagens brasileiras é baixa e marcadamente estacional, e nesse processo, o nitrogênio e o fósforo são os nutrientes que mais limitam a produção (Moreira et al., 2006). O potássio é o único cátion monovalente essencial para todas as plantas e o mais abundante no citoplasma celular, desempenhando várias funções na planta. Na forma de íon inorgânico, está presente dentro das células como importante soluto, participando juntamente com outros solutos inorgânicos na osmorregulação celular da atividade enzimática (Malavolta et al., 1986). É o cátion mais abundante na planta, sendo notável a diferença na velocidade de

absorção quando comparado com outros elementos. Embora não se conheça composto orgânico como o potássio, sabe-se que o elemento é necessário para a ativação de uma série de enzimas presentes em vários processos metabólicos. É necessário ao desenvolvimento da clorofila, embora não constitua fração predominante na sua estrutura molecular, na absorção de CO<sub>2</sub>, na abertura estomática, bem como no regime hídrico das células e dos tecidos da planta. Sabe-se que plantas deficientes em potássio acumulam carboidratos e compostos nitrogenados solúveis, têm taxa respiratória aumentada e taxa de fotossíntese reduzida, em relação a plantas adequadamente supridas. O teor de potássio na planta está estreitamente correlacionado com resistência a determinadas doenças, a estresse de umidade, a baixa temperatura e ao acamamento de plantas.

Segundo Mistura et al. (2006), em capim elefante utilizado em sistema de corte, e também de pastagem, pouco se conhece sobre o efeito do potássio na produção de biomassa. Ainda destaca que adubação potássica reveste-se de uma importância muito grande, especificamente quando a utilização da forrageira é feita sob sistema de corte. Por apresentar grande capacidade de produção de biomassa, a remoção desse nutriente devido ao corte e transporte para outras áreas, que não a de produção, acarreta geralmente em grandes problemas de desequilíbrio de potássio no solo. Em estudo sobre a adubação potássica, Vicente-Chandler et al. (1959), registraram que para a produção de 15 a 50 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca, o capim elefante removeu entre 510 e 620 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de potássio.

Como mencionado anteriormente, estudos comprovaram que algumas concentrações de elementos na planta de capim elefante, em vários experimentos realizados, estavam aquém da necessidade dos bovinos. Para a produção de energia a partir de biomassa de capim elefante, alguns elementos tem uma grande importância na parte industrial, pois se estiverem em concentrações acima dos desejáveis pela indústria, acarretarão em perda de qualidade do capim. Essas concentrações desejáveis para o processo industrial são bem menores do que as concentrações necessárias para uma adequada dieta de bovinos, e é exatamente nesse contexto que está inserido o maior desafio da produção de capim elefante para a utilização como fonte de energia alternativa. É necessário que os nutrientes estejam em concentrações suficientes para uma boa e/ou elevada produtividade no campo, ao mesmo tempo em que as concentrações de alguns nutrientes não podem ser elevadas o suficiente para que o capim perca qualidade industrial, sendo parte fundamental desse estudo a análise desses nutrientes e suas comparações com os setores de produção animal e industrial.

Soma-se a isso o custo final de produção do capim, que está amplamente relacionado com os gastos em adubação, que tem grande peso no balanço energético da cultura, que quanto mais positivo, melhor e mais eficiente será a energia produzida. Quanto menos e mais racionalizadas forem as quantidades e gastos feitos com adubação, menor será o custo de produção, maior será o balanço energético, e o capim não perderá em qualidade devido à excesso de concentração de determinados elementos.

## **2.5 Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio no Capim Elefante**

Uma grande fonte auxiliadora na possibilidade do capim elefante ser usado com fins energéticos é a contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN), que é uma ferramenta relevante para a diminuição dos custos de produção e aumento do balanço energético da cultura. Estudos de FBN associada ao capim elefante ainda são muito incipientes, bem como os estudos e ocorrência de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> associadas ao mesmo. No Brasil, os estudos sobre a contribuição da FBN em gramíneas obtiveram grande avanço em plena revolução verde, num momento em que a maioria dos países industrializados buscava auto-suficiência de alimentos através do uso maciço de fertilizantes nitrogenados na agricultura. Países como o Brasil intensificaram as pesquisas em fontes alternativas de nitrogênio, buscando diminuir a dependência pelos adubos nitrogenados, uma vez que a crise energética

havia elevado os custos do produto e o mesmo não era subsidiado no Brasil. A associação de bactérias fixadoras de nitrogênio com gramíneas ganhou enorme importância principalmente com a descoberta de que bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Azospirillum* colonizavam os tecidos internos das raízes. Esse fato indicou que sua interação com a planta poderia resultar em uma associação com maior potencial de exploração agrícola do que as associações de várias bactérias diazotróficas com a rizosfera dessas plantas (Döbereiner e Day, 1975). A partir desse conhecimento, diversos grupos mundiais de pesquisa se interessaram pela associação gramíneas/bactérias diazotróficas, culminando com a identificação de seis espécies de *Azospirillum* nos últimos 20 anos (Baldani et al., 1998). Neste período foram gerados conhecimentos sobre a ecologia, fisiologia e genética, assim como do processo de infecção e colonização em cereais, principalmente as espécies *Azospirillum lipoferum* e *Azospirillum brasilense* (Baldani et al., 1997). O grande desafio desta associação foi a busca imediata de resultados práticos de resposta à inoculação, entretanto não foram considerados aspectos como estirpes, genótipos ou o ambiente (Boddey e Döbereiner, 1988). Desse modo, os primeiros resultados não foram relevantes devido a inconsistência e a falta de reprodutibilidade dos dados obtidos nos estudos de inoculação em cereais com *Azospirillum* conduzidos no Brasil e outros países (Baldani et al., 1987, Okon et al., 1995).

Uma associação que despertou o interesse mundial refere-se àquela envolvendo gramíneas e bactérias diazotróficas endofíticas obrigatórias, que vivem no interior da planta (Döbereiner, 1992). A capacidade destas bactérias de colonizar nichos específicos no interior dos tecidos das plantas, onde permanecem protegidas das altas taxas de oxigênio (inibitória para a atividade da enzima nitrogenase) e possivelmente com carbono mais prontamente disponível, sugere uma associação bastante similar a da simbiose rizóbio/leguminosa embora não possa ser classificada como endosimbiótica (Olivares et al., 1997). Como exemplo, podemos citar a associação de algumas variedades de cana-de-açúcar com as bactérias diazotróficas endofíticas *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae* e *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (Baldani et al., 1998), onde acredita-se que até 70% do N acumulado na planta seja proveniente da fixação biológica de nitrogênio (Urquiaga et al., 1992). Vale ressaltar que estes resultados são baseados somente na seleção de genótipos mais eficientes e que ainda existe a possibilidade de aumentar a eficiência da associação através da inoculação de estirpes endofíticas selecionadas ou geneticamente modificadas durante o processo de micropropagação das plantas. Resultados bastante promissores também foram observados em arroz inoculado com bactérias diazotróficas endofíticas (Baldani, 1996).

A presença de bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Herbaspirillum*, em plantas fibrosas C4 *Spartina pectinata*, *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sacchariflorus* e *Pennisetum purpureum*, foi detectada por Kirchhof et al. (2001), utilizando meio semi-sólido livre de nitrogênio. Com base em propriedades fisiológicas, análise filogenética comparando a sequência 16s rDNA e hibridização DNA:DNA, os isolados se distinguiram acentuadamente das outras espécies *Herbaspirillum* spp., e foram então agrupados em uma nova espécie, denominada *Herbaspirillum frisingense*. A habilidade em fixar nitrogênio foi testada por amplificação em PCR do gene *nifD* e pela técnica de redução de acetileno. Nos isolados, foi observada a presença da bactéria nas quatro plantas estudadas, sendo que em *Pennisetum* e *Miscanthus sinensis* foi observada em raízes lavadas, em *S. pectinata* em raízes e caules lavados, e em *M. sacchariflorus* em folhas, raízes e caules lavados (Kirchhof et al., 2001). O papel destes microorganismos ainda não está bem definido (Döbereiner & Baldani, 1982). Estudos onde foi empregada a técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$  para a estimativa de contribuição da FBN em gramíneas forrageiras (Boddey & Victoria, 1986 e Miranda & Boddey, 1987), registraram contribuições da FBN da ordem de 10% em *Paspalum notatum* cv. Batatais, e de 24 a 38% para ecótipos de *Panicum maximum* e 30 a 40% para *B.*

*humidicula* e *B. decumbens*, respectivamente. Em dois experimentos realizados no campo em dois solos de texturas distintas, Quesada (2001) encontrou valores de FBN para Cameroon e Roxo de 54% e 35 % respectivamente.

## 2.6 Balanço de N-Total do Sistema Solo-Planta

Esta técnica é bastante difundida na pesquisa científica e baseia-se em medir as entradas e saídas de N no sistema solo-planta-atmosfera, calculando-se a diferença entre ambos e obtendo-se ganhos de N quando ocorrer fixação. Idealmente, o balanço deve incluir todas as entradas e saídas de N, incluindo-se fertilizantes, chuvas, água de irrigação, lençol freático, lixiviação, desnitrificação, volatilização de amônia etc., monitorando-se assim todas as formas sólidas, dissolvidas e gasosas de nitrogênio (Boddey, 1987). Entretanto, tais medições são difíceis de serem obtidas na prática, o que vem acarretando no não monitoramento das formas gasosas de N e muitas vezes de sua lixiviação.

Solos ricos em N tendem a aumentar os erros da estimativa da FBN, pois o N acumulado nas plantas é muito inferior ao nitrogênio total presente no solo. Erros associados a amostragem e análise de N afetam grandemente o cálculo do balanço. Um erro de 5%, bastante aceitável em análises laboratoriais, pode corresponder a 100-200 kg ha<sup>-1</sup> de N (Alves et al., 1994). O erro da estimativa do balanço é o somatório dos erros envolvidos em cada estimativa de entrada/saída de N de todas fontes/drenos (Boddey, 1987). Devido a esta variabilidade, é desejável a continuação do experimento por longos períodos para que o erro seja inferior a magnitude da mudança do conteúdo de N em um determinado período.

O uso de substratos pobres em N total (vermiculita, horizontes inferiores de solos tropicais, etc.), em relação a um solo normal, aumenta a sensibilidade do método, não obstante as condições de crescimento das plantas serem atípicas. Preferivelmente, os experimentos de quantificação com balanço de N devem ser de longa duração em solos pobres em N e em condições de campo, obtendo-se estimativas mais realistas das entradas e saídas de N no sistema. São poucos os estudos de balanço de N em campo, porém, que monitoram todas essas entradas e podem ser considerados verdadeiros balanços de N (Boddey, 1987).

Apesar de teoricamente simples e de não exigir equipamentos sofisticados, a metodologia apresenta as desvantagens de não distinguir diretamente se houve a incorporação na planta de qualquer N<sub>2</sub> que tenha sido fixado e de exigir a manutenção do experimento por vários cultivos consecutivos.

## 2.7 Técnica de Abundância Natural de <sup>15</sup>N

A técnica da abundância natural de <sup>15</sup>N ( $\delta^{15}\text{N}$ ) vem ganhando destaque a nível de campo e baseia-se no fato de que, geralmente, o N do solo é levemente enriquecido com o isótopo <sup>15</sup>N em comparação ao N<sub>2</sub> do ar (Shearer & Kohl, 1986). O nitrogênio do ar apresenta cerca de 0,3663% de <sup>15</sup>N e o restante (99,6337%) de <sup>14</sup>N (Junk & Svec, 1958). Porém, devido à discriminação isotópica que ocorre durante as transformações do nitrogênio no sistema solo-planta, ambos podem apresentar valores de <sup>15</sup>N um pouco maiores que os encontrados na atmosfera (Shearer & Kohl, 1986). Estas variações são extremamente pequenas, convencionando-se então que cada unidade de delta <sup>15</sup>N seria a abundância natural dividida por mil, ou seja 0,0003663 átomos % de <sup>15</sup>N em excesso. Espécies que são capazes de obter do ar a maior parte do nitrogênio necessário para sua nutrição, apresentarão valores de  $\delta^{15}\text{N}$  bem próximos a zero, uma vez que a maior parte do N virá do ar, que é o padrão da técnica e possui 0,3663 % de <sup>15</sup>N, ou seja, zero unidades de delta <sup>15</sup>N. Por outro lado, as espécies não fixadoras crescendo no mesmo solo terão valores de  $\delta^{15}\text{N}$  mais elevados e próximos aos do

solo, uma vez que toda ou a maior parte do N necessário para o seu desenvolvimento é derivado deste.

Esta técnica, como todas as outras utilizadas na determinação da contribuição da FBN para as plantas, também apresenta limitações, exigindo algumas considerações. Assim como as outras técnicas isotópicas, esta técnica depende da premissa básica de que as plantas fixadoras e não-fixadoras, crescendo no mesmo solo, absorvam nitrogênio do solo com a mesma marcação com  $^{15}\text{N}$  (Shearer & Kohl, 1986). Esta limitação pode ser contornada selecionando-se espécies-referência, com desenvolvimento radicular e demanda de N semelhantes à planta avaliada. Outra limitação do método consiste no alto custo das análises, e a necessidade de um maior cuidado com a manipulação das amostras (Boddey, 1987). Além das dificuldades descritas acima, é importante considerar também os valores de fracionamento isotópico (valor B) das plantas fixadoras crescendo em meios livres de N combinado. Estas variações se dão em nível de espécie da planta, das estirpes das bactérias diazotróficas envolvidas, e do estágio e condições de crescimento. Sendo assim, é necessário que se utilize um fator de correção, (valor B), que possa expressar a discriminação isotópica de  $^{15}\text{N}$  feita por cada espécie (Peoples et al, 1989). Por outro lado, as diferenças que possam existir na exploração do volume do solo pelas raízes das plantas teste e controle e as diferenças na curva de absorção de nutrientes entre elas, são fatores que permitem sugerir o uso de mais de uma espécie como referência (Shearer & Kohl, 1986). Ainda assim, o uso desta técnica, com os devidos cuidados descritos acima, normalmente apresenta alta correlação com a técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$  com aplicação de  $^{15}\text{N}$ -Fertilizante na marcação do solo que é, atualmente, a técnica mais difundida e aceita para fins de quantificação da contribuição da FBN para as plantas (Peoples et al., 1989).

O estudo da Fixação Biológica de Nitrogênio para as gramíneas é de fundamental importância para que se saiba a real contribuição da FBN nas mesmas, para que no futuro se possa potencializar a produtividade e viabilizar novas formas de manejo. Esta quantificação poderá então viabilizar novas tomadas de decisões, visando a redução de custos. A pesquisa sobre a FBN vem evoluindo bastante ao longo dos anos, mas sabe-se que há uma longa trajetória até que se encontre um sistema produtivo que realmente possa ser considerado sustentável.

## **2.8 O Carbono do Solo e sua Importância na Dinâmica de Nutrientes de Solos Tropicais**

Após a retirada da vegetação natural, o uso do solo para fins agrícolas, tem freqüentemente mostrado alterações nas propriedades químicas e biológicas do solo, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. A interação destas condições estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (Marchiori Júnior & Melo, 2000).

Estas alterações afetam num primeiro momento, a biomassa microbiana do solo, que é considerada por Jenkinson & Ladd (1981), como a “parte viva da matéria orgânica do solo” que, por conseguinte, acaba afetando toda a dinâmica de nutrientes do solo (Resende, 2003). Portanto, a MOS acaba sendo afetada em maior ou menor intensidade em função da cultura e do manejo empregado na área. Seu novo estado de equilíbrio, portanto, estará ligado diretamente a estes fatores (Resende, 2000).

Alterações no conteúdo da MOS afetam de forma direta a fertilidade do solo, uma vez que a MOS é uma fonte importante de nutrientes e que, principalmente nos solos tropicais, destaca-se por sua contribuição na capacidade de troca catiônica do solo (Resende, 2000).

## **2.9 A Ciclagem de Nutrientes**

Em ecossistemas naturais em equilíbrio as entradas de nutrientes no solo originárias do intemperismo e da decomposição de resíduos orgânicos são equivalentes às perdas originárias da lixiviação das bases, da assimilação pelas plantas e da mineralização da matéria orgânica (Stevenson, 1982). Este processo onde a ciclagem de nutrientes não sofre alterações bruscas é conhecido por equilíbrio dinâmico.

Já em sistemas agrícolas ocorre um desequilíbrio na ciclagem de nutrientes onde os processos de mineralização, extração pelas plantas e perdas por erosão são maiores do que as entradas de nutrientes oriundos da decomposição da matéria orgânica do solo e processos biogeoquímicos, principalmente pela alteração dos minerais primários. Este desequilíbrio acarreta em uma diminuição na agregação do solo, principalmente em função das sucessivas perturbações causadas pelo cultivo e da redução dos agentes ligantes orgânicos (Stevenson, 1982; Longo & Espíndola, 2000). As principais conseqüências sobre as propriedades físicas do solo estão relacionadas ao aumento do processo de erosão, diminuição da infiltração e retenção de água, redução da aeração e aumento da temperatura nas camadas superficiais do solo.

Considerando suas propriedades químicas, pode-se dizer que a mineralização dos agentes ligantes do solo causam a ruptura dos agregados liberando nutrientes anteriormente indisponíveis às plantas. Esta etapa ocorre logo após a mudança no uso da terra, que posteriormente acaba dando início a um período de diminuição do fluxo de nutrientes no solo, o qual está relacionado à redução do teor de matéria orgânica..

Neste sentido, a degradação da matéria orgânica do solo acaba tendo papel decisivo na manutenção da produtividade do agrossistema. Esta degradação está condicionada de forma direta a espécie utilizada e principalmente ao manejo empregado, existindo fortes variações, portanto, entre culturas temporárias e perenes e semiperenes, e ainda entre espécies do mesmo gênero.

## **2.10 O Carbono, a Agricultura e o Meio Ambiente.**

Embora a fertilidade e a conservação do solo sejam a prioridade dos estudos envolvendo profissionais de ciências agrárias, nos últimos anos, outra preocupação vem se tornando comum para pesquisadores de todo o mundo: o aquecimento do planeta. Este aquecimento, segundo os cientistas, é derivado da alta emissão de gases do efeito estufa (GEE) ( $\text{CO}_2$ , Nox,  $\text{CH}_4$ ), para a atmosfera, após a revolução industrial. Dentre estes gases, o  $\text{CO}_2$  destaca-se de forma quantitativa como o maior causador deste problema, justamente por ser o gás de maior emissão atualmente. Assim, muitos autores têm sugerido que o setor agropecuário pode colaborar para mitigar os efeitos das emissões destes gases através de manejos conservacionistas que possibilitem o incremento de carbono no solo (Primavesi, 1987). Esta é uma das técnicas possíveis de se fazer o que vem se chamando nos últimos anos de “seqüestro de carbono” em ecossistemas terrestres. Este conceito engloba tanto a captura de carbono da atmosfera quanto a prevenção de emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas.

Existem duas maneiras básicas de abordar a fixação de carbono em ecossistemas terrestres: a) proteção dos ecossistemas que estocam carbono para que esse processo seja mantido ou até mesmo incrementado (Amazônia por exemplo) e; b) manipulação dos ecossistemas para aumentar a fixação de carbono (plantio direto e/ou reflorestamento de áreas degradadas ou tradicionalmente nuas).

A fixação do carbono pode se dar tanto na planta como no solo. O total de carbono armazenado em um sistema reflete o balanço, em longo prazo, entre a absorção da planta, a fixação de carbono no solo e as perdas por respiração e decomposição.

A partir da Eco-92 (Conferência mundial sobre ecologia e meio ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992), Países de todo o mundo vem tentando chegar a um acordo sobre a redução das emissões de GEE através de mecanismos de desenvolvimento limpo e emissões de certificados de redução de emissões, incluindo aí, o seqüestro de carbono que vem sendo muito propalado no meio agro-florestal.

A partir da elaboração do Protocolo de Kyoto novas perspectivas para a captação de recursos internacionais para projetos que colaborem com a redução dos impactos causados pelo efeito estufa foram surgindo. Neste contexto a cultura de cana-de-açúcar apresenta grande potencial de captação do carbono e principalmente evitando novas emissões através da substituição de combustíveis fósseis pelos resíduos da indústria sucroalcooleira e produção do álcool combustível (Resende et al., 2000).

Atualmente intensos esforços estão sendo feitos em nível internacional, com a finalidade de diminuir a emissão dos GEE. Para tanto, diferentes metas de redução ou limitação de emissões de carbono foram estabelecidas politicamente por cada país. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos vários “mecanismos de flexibilidade” autorizados pelo Protocolo de Kyoto (dezembro de 1997) e consiste na certificação de projetos de redução de emissões e seqüestro de carbono em países em desenvolvimento e a posterior venda desses certificados para serem utilizados pelos países desenvolvidos como uma forma de atingir o cumprimento de suas metas. Assim, práticas conservacionistas que mantenham ou incrementem o estoque de carbono no solo ou que possibilitem uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis podem se tornar muito atrativas também do ponto de vista econômico.

### **2.11 Importância da FBN para o Seqüestro de Carbono**

Admitindo-se o potencial de redução nas emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, via seqüestro de carbono, seja pela parte aérea dos vegetais ou pela incorporação na matéria orgânica do solo, a fixação biológica de nitrogênio ocupa papel de grande destaque. Na fabricação de uma tonelada de Fertilizante nitrogenado é necessária uma energia equivalente a aproximadamente 15000 Mcal (o que equivale 820 kg de C), que normalmente é obtida via queima de combustíveis fósseis (Macedo, 1998; Lal, 2002). Neste sentido a utilização de espécies vegetais para o seqüestro de carbono que sejam capazes de receber parte ou todo o nitrogênio necessário ao seu desenvolvimento via FBN é de fundamental importância, não somente do ponto de vista ambiental como do ponto de vista econômico, uma vez que o nitrogênio é, para a maioria das espécies, o elemento mineral de maior demanda. Neste contexto, a cultura de capim elefante, desde que implementado um manejo racional pode se tornar ainda mais atrativa, pois além de seu potencial de produção de biomassa congrega também grande potencial de fixação biológica de nitrogênio associativa (Quesada, 2005).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Seleção de Genótipos de Capim elefante (*Pennisetum purpureum schum.*) para Alta Produção de Biomassa e Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) sob Diferentes Condições de Manejo. EXPERIMENTO I.

##### 3.1.1 Tratamentos e delineamento experimental

Foram avaliados cinco genótipos de capim elefante: Cameroon, Gramafante, CNPGL F06-3, CNPGL F79-2 e Bag 02, previamente selecionados por sua rusticidade e alta produção de biomassa sob condições controladas. Estes genótipos receberam dois tratamentos nitrogenados, doses de 0 e 50 kg N ha<sup>-1</sup> com quatro repetições. Desta forma o delineamento estatístico global corresponde a parcelas subdivididas, onde as parcelas receberiam os tratamentos que correspondem aos cinco genótipos e as subparcelas os tratamentos de adubação nitrogenada. Cada unidade experimental foi constituída de 10 linhas de capim elefante com 10 m de comprimento, espaçadas de 1,2 m, totalizando 120 m<sup>2</sup> por parcela.

##### 3.1.2 Implantação e condução do experimento

O presente experimento foi implantado em junho de 2005, na área experimental da Samarco Mineração, em Anchieta – ES, num Argissolo de textura média e de moderada fertilidade a qual é indicada pelos resultados da análise química de terra realizada antes da implantação do experimento (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultado da análise química de terra antes da implantação do experimento em Anchieta – ES

Profundidade	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>	N
		-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----			----- mg/dm <sup>3</sup> -----		g/kg
0-20	6,18	0	2,85	2,72	8,60	62,35	1,10
20-40	6,51	0	2,53	1,57	10,11	54,40	0,95

N - Método semimicro-Kjeldahl (Alves et al., 1994); C – Carbono orgânico método Walkley & Black (Raij et al., 1987). pH(H<sub>2</sub>O), Al, Ca e Mg, K e P (EMBRAPA-SNLCS, 1979)

Baseado na Tabela 1, foram recomendados para a adubação de plantio, segundo e terceiro corte, 130 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 65 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE-BR 12 e 50 kg N ha<sup>-1</sup>, aplicados somente nos tratamento com N. Todas as adubações foram realizadas nas linhas das plantas. Durante o período experimental, foram efetuadas capinas mecânicas e/ou químicas, de acordo com a necessidade.

##### 3.1.3 Produção de matéria seca e N-total acumulado

Os tratamentos foram avaliados através da colheita da biomassa do capim elefante após a sua maturação fisiológica a cada seis meses de idade, sendo a primeira colheita realizada em dezembro de 2005, a segunda em junho de 2006 e a terceira em dezembro de 2006. A biomassa das parcelas foi pesada fresca, sem separar caule e folhas, e logo após foram retiradas sub-amostras que em seguida foram levadas a estufa de secagem a 65°C até estabilização de seus pesos, quando então foi determinada a fração de matéria seca das plantas. A proporção de caule e folha presente em cada genótipo em estudo foi calculada a partir de dez plantas coletadas aleatoriamente dentro de cada parcela no momento da colheita. Após esta etapa as amostras de plantas foram pré-moídas em moinho tipo Willey (peneiras de 2 mm), para as análises de N total, fibra (FDA), lignina, celulose, cinzas e teores de nutrientes

nos tecidos, em seguida levadas para moinho de rolagem até a pulverização (Smith & Myung, 1990) onde foram feitas as análises de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (Boddey et al., 1994).

### 3.1.4 Quantificação da fixação biológica de nitrogênio

Neste estudo foi aplicada a técnica da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  proposta por Shearer e Kohl (1986). Nesta técnica, as plantas de capim elefante foram amostradas retirando-se a primeira folha completamente desenvolvida, denominada “folha +3”, que é utilizada para determinação do estado nutricional de cana de açúcar e também pelo fato dessa folha, de acordo com Boddey et al (2001), apresentar um valor médio de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  da planta inteira em cana de açúcar, espécie da mesma família do capim elefante. Em cada parcela foram coletadas ao acaso 10 folhas. Na área do experimento foram amostradas as plantas não leguminosas de ocorrência natural na lavoura (“plantas invasoras”), para serem utilizadas como plantas testemunhas. Estas plantas foram identificadas taxonomicamente ao nível de espécie, e o número de espécies amostradas variou em função da ocorrência das mesmas nos blocos. A amostragem foi realizada pela formação de uma amostra composta em cada bloco do experimento. Em relação ao procedimento de coleta e da formação da amostra composta, as plantas invasoras foram identificadas e coletavam-se 4 repetições da parte aérea de cada espécie, por amostra composta e por bloco (**Anexo F**).

Por essa técnica isotópica, diferenças na abundância natural do  $^{15}\text{N}$  em profundidade podem refletir em diferenças entre as plantas de capim elefante e testemunhas, sem que a FBN esteja, de fato, contribuindo para o sistema, bastando para isso que as plantas testemunhas empregadas no estudo utilizem N das camadas do solo em proporções diferentes daquelas para capim elefante.

Para avaliar essa situação, realizou-se um estudo adicional em casa de vegetação para verificar o grau de uniformidade dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  no perfil do solo. Para isso, 3 espécies de plantas não fixadoras (Alpiste - *Phalaris canariensis*, Pé de Galinha - *Eleusine indica* e Sorgo - *Sorghum bicolor*), utilizadas como testemunhas não fixadoras, foram cultivadas em amostras de 5 diferentes profundidades do perfil do solo (0-10; 10-20; 20-30; 30-50; 50-70). O solo referente a cada profundidade foi coletado em dezembro de 2005 na área do experimento, e após esta etapa o mesmo foi seco e peneirado utilizando uma malha de 2mm. Na Tabela 2 pode ser observado o resultado da análise química das diferentes camadas no momento da coleta do solo. Trata-se, como mencionado anteriormente, de um solo de moderada fertilidade na camada arável, representativo da região, sendo a disponibilidade de nutriente muito baixa a mais de 50 cm de profundidade.

**Tabela 2.** Análise química do solo no momento da implantação dos tratamentos referente a este estudo.

Prof.	pH	C	N	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>
	H <sub>2</sub> O	g/kg		-----	cmolc/dm <sup>3</sup>	-----	-----	mg/dm <sup>3</sup>
0-10	6,0	17,3	1,26	0,0	2,7	1,9	12	63,4
10-20	6,4	17,0	1,27	0,0	2,6	1,4	10	56,35
20-30	5,9	14,2	1,04	0,0	2,3	1,4	10	45,18
30-50	5,4	9,7	0,89	0,0	1,8	0,9	8	23,15
50-70	5,3	6,5	0,57	0,0	1,5	0,5	7	15,12

N - Método semimicro-Kjeldahl (Alves et al., 1994). C, Al, Ca, Mg, K e P (EMBRAPA-SNLCS, 1979).

Neste estudo utilizaram-se vasos contendo 0,4 kg de solo, efetuando-se uma adubação básica composta por 50 mg kg<sup>-1</sup> de solo de FTE BR12, 100 mg kg<sup>-1</sup> de solo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples, e 100 mg kg<sup>-1</sup> solo de K<sub>2</sub>O na forma de sulfato de potássio, sendo estas recomendações utilizadas para todas as profundidades estudadas. O delineamento

experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 3 x 5, sendo os fatores 3 espécies de plantas não fixadoras e 5 diferentes profundidades, com três repetições.

Em relação a densidade de plantio utilizada para as diferentes testemunhas, foi utilizada a densidade de 08 sementes por vaso para Pé de Galinha (*Eleusine indica*) e Sorgo (*Sorghum bicolor*), enquanto que para Painço (*Panicum mileaceum*) foram utilizadas 12 sementes por vaso, em vista da baixa porcentagem de germinação. Vale ressaltar porém, que uma semana após a emergência das plantas foi feito um desbaste deixando-se 6 plantas por vaso. As amostras de todos os ensaios foram moídas em moinhos do tipo Wiley (<40 mesh) e posteriormente passadas em moinho de rolagem para diminuição da granulometria das amostras (<40 mesh) (Smith e Myung, 1990). Após este processamento as mesmas foram analisadas para a determinação da abundância natural de <sup>15</sup>N utilizando um espectrômetro de relação de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus acoplado a um auto-analisador de C e N total Carlo Erba EA 1108 – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha).

Em relação ao cálculo da contribuição percentual da FBN para a nutrição nitrogenada das plantas de capim elefante quando se utilizou a técnica de abundância natural de <sup>15</sup>N, este foi realizado aplicando-se a fórmula (Shearer e Kohl, 1986):

$$\% \text{ FBN} = ((\delta^{15}\text{N PTNF} - \delta^{15}\text{N PTF}) \times 100) / (\delta^{15}\text{N PTNF} - B)$$

Onde:

$\delta^{15}\text{N PTNF}$  – Valor de  $\delta^{15}\text{N}$  do solo obtido através de plantas testemunhas não fixadoras, utilizadas como referência.

$\delta^{15}\text{N PTF}$  - Valor de  $\delta^{15}\text{N}$  da planta teste fixadora de N<sub>2</sub> (capim elefante).

B – Valor da discriminação isotópica de <sup>15</sup>N feita pelas plantas durante o processo de FBN (Neste estudo, foi considerado igual a zero).

### 3.1.5 Relação carbono/nitrogênio (C/N) e relação talo/folha (T/F)

A Relação C:N dos diferentes genótipos coletados foi calculada através da divisão do teor de carbono na matéria seca (45% da biomassa seca) pelo teor de nitrogênio acumulado na matéria seca, fornecendo então um valor para esta relação. Pelo valor apresentado, sabe-se um pouco mais sobre a capacidade que os materiais tem em acumular biomassa por unidade de N, o qual está associado com a produção de energia. Já para a relação T/F, os dados foram obtidos através da divisão do total de colmos produzidos pelo total de folhas.

### 3.1.6 Análise de fibras

A análise das fibras foi realizada conforme proposto por Van Soest (1968), que é baseado na separação das frações constituintes das forrageiras, por meio de reagentes específicos denominados detergentes. A utilização do detergente ácido específico tem por finalidade solubilizar o conteúdo celular e a hemicelulose, obtendo-se um resíduo insolúvel no detergente ácido, denominado fibra em detergente ácido (FDA), constituída em quase a sua totalidade de celulose (lignocelulose) e lignina. Por intermédio do permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>), a lignina é solubilizada, completando-se então o fracionamento dos constituintes da parede celular. A celulose é estimada por diferença de pesagens, antes e depois de se levar os cadinhos à mufla.

O método sugerido por Van Soest, possui maior precisão que outros métodos para a análise da qualidade das forrageiras, além de fornecer informação sobre componentes importantes como FDA, celulose, lignina, cinzas, etc.

### 3.1.7 Análise estatística

Os procedimentos estatísticos foram determinados com auxílio dos pacotes estatísticos Saeg 9.1 e Sisvar 4.1, das Universidades de Viçosa e Lavras, respectivamente. Para testar a normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros foram utilizados os testes de Lilliefors e de Cochran & Bartley, respectivamente, contidos no programa estatístico Saeg 9.1. Com os pressupostos atendidos, normalidade e homogeneidade com distribuição explicada pela função normal, foram realizadas a análise de variância (ANOVA) com a aplicação do teste F e, para as variáveis cujo teste F for significativo, compararam-se as médias de tratamentos pelo teste de Tukey, ( $p=0,05$ ), com a utilização do pacote estatístico Sisvar 4.3.

## 3.2 Balanço de C e N no Sistema Solo-Planta com Cinco Espécies de Capim elefante Cultivados em Seropédica- RJ. EXPERIMENTO II

### 3.2.1 Implantação dos tratamentos do experimento.

Este estudo vem sendo realizado na área experimental da Embrapa Agrobiologia, localizada na Baixada Fluminense, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, em dois solos (Argissolo e Planossolo de textura franco arenosa) extremamente pobres em nutrientes, principalmente em nitrogênio (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultado da análise químicas dos diferentes tipos de solos estudados no momento da implantação (profundidade de 0 a 20 cm).

Classe de solo	pH	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>	N
	H <sub>2</sub> O	-----	cmolc/dm <sup>3</sup>	-----	----mg/kg <sup>1</sup> -----	-----	g/kg <sup>1</sup>
Argissolo	6	0	3	1,55	5,25	33,75	0,95
Planossolo	6,28	0	2,03	0,98	9	24,25	0,58

N - Método semimicro-Kjeldahl (Alves et al., 1994). C – Carbono orgânico método Walkley & Black (Raj et al., 1987). pH(H<sub>2</sub>O), Al, Ca e Mg, K e P (EMBRAPA-SNLCS, 1979)

Os genótipos escolhidos para este experimento foram: Cameroon, Bag, Gramafante, Roxo e CNPGL F06-3, com quatro repetições. O experimento foi instalado em outubro de 2005. Neste caso o delineamento estatístico global corresponde a parcelas subdivididas, onde nas parcelas estão os tratamentos que correspondem as duas classes de solos (Argissolo e Planossolo) e as subparcelas os tratamentos que correspondem aos cinco genótipos, com quatro repetições totalizando 40 parcelas. Vale salientar que todas as condições são homogêneas nos blocos, tanto no Argissolo como no Planossolo, permitindo que este experimento fosse analisado como parcelas subdivididas.

### 3.2.2 Preparo do solo e adubação

No plantio deste experimento, no fundo do sulco de capim elefante aplicou-se 150 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para o Argissolo e Planossolo, respectivamente, e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples e 60 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR 12 para ambos os solos, este último, como fonte de micronutrientes. As doses de P, K e micronutrientes, foram aplicadas com base no acúmulo médio destes nutrientes na cultura de capim elefante e de forma a garantir que somente o nitrogênio seria o fator limitante para o desenvolvimento da cultura e desta forma estimular o potencial da FBN para a mesma. Vale destacar que após cada colheita foram realizadas adubações para suprir as demandas de P e K extraídas pelas plantas, com base na análise de solo e que durante o período experimental, foram efetuadas capinas mecânicas e/ou químicas, de acordo com a necessidade.

### **3.2.3 Procedimentos para análises laboratoriais**

Por ocasião da colheita, foram cortadas as quatro linhas centrais de cada parcela, totalizando 28 m<sup>2</sup>, sendo que a biomassa das parcelas foi pesada fresca, sem separar caule e folhas, e logo após foram retiradas sub-amostras que em seguida foram levadas a estufa de secagem a 65°C até estabilização de seus pesos, quando então foi determinada a fração de matéria seca das plantas. A proporção de caule e folha presente em cada genótipo e os procedimentos adotados para o preparo das amostras para as análises de N-total, abundância natural de <sup>15</sup>N (Boddey et al., 1994), relação C/N, fibra, lignina, celulose e cinzas foram similares às metodologias utilizadas no experimento I.

### **3.2.4 Quantificação da fixação biológica de nitrogênio**

A técnica e os procedimentos realizados para os cálculos da contribuição da fixação biológica de nitrogênio no sistema, foram similares ao experimento I. Para a interpretação da variação de delta <sup>15</sup>N no perfil dos dois solos em estudo, foram montados dois ensaios experimentais. A abundância natural de <sup>15</sup>N em profundidade pode refletir diferenças e isto pode acarretar, de fato, mudanças na contribuição do processo. Para avaliar essa situação, realizou-se um estudo adicional em casa de vegetação para verificar o grau de uniformidade dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  no perfil de dois solos cultivados com capim elefante. Para isso, 3 espécies de plantas não fixadoras (Alpiste - *Phalaris canariensis*, Pé de Galinha - *Eleusine indica* e Sorgo - *Sorghum bicolor*), utilizadas como testemunhas não fixadoras, foram cultivadas em amostras de 5 diferentes profundidades dos perfis dos solos em estudo (0-10; 10-20; 20-30; 30-50; 50-70). O solo referente a cada profundidade foi coletado em setembro de 2006 na área do experimento, e após esta etapa o mesmo foi seco e peneirado utilizando uma malha de 2 mm. Na Tabela 4 pode ser observado o resultado da análise química das diferentes camadas no momento da coleta dos solos em estudo. Trata-se, como mencionado anteriormente, de solos pobres em nutrientes, representativo da região, sendo que a disponibilidade de nutrientes é muito baixa, principalmente em nitrogênio, especialmente abaixo de 40 cm de profundidade.

**Tabela 4.** Análise química do solo no momento da implantação dos tratamentos referente a este estudo.

Argissolo								
Prof.	pH	C	N	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>
cm	H <sub>2</sub> O	-----g/kg-----	-----	-----	-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----	-----	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	-----
0-10	5,5	10,80	1,3	0,0	1,0	0,9	7	18
10-20	5,5	6,63	1,1	0,0	1,4	0,4	6	29
20-30	5,5	4,90	1,0	0,0	1,5	0,4	2	16
30-50	5,6	2,03	0,7	0,0	1,4	0,7	3	15
50-70	5,5	1,84	0,6	0,0	1,2	0,5	2	13

Planossolo								
Prof.	pH	C	N	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>
cm	H <sub>2</sub> O	-----g/kg-----	-----	-----	-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----	-----	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	-----
0-10	5,2	5,70	0,7	0,0	0,70	0,40	17	21
10-20	4,5	4,83	0,5	0,0	0,62	0,22	5	12
20-30	4,2	2,53	0,4	0,0	0,75	0,35	4	05
30-50	4,8	1,97	0,2	0,0	0,80	0,32	2	05
50-70	4,5	1,86	0,2	0,0	0,71	0,28	2	03

N - Método semimicro-Kjeldahl (Alves et al., 1994); C; Al; Ca; Mg; K e P – EMBRAPA-SNLCS (1979).

Neste estudo utilizaram-se vasos contendo 0,4 kg de solo, efetuando-se uma adubação básica composta por 50 mg kg<sup>-1</sup> de solo de FTE BR 12, 100 mg kg<sup>-1</sup> de solo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples, e 100 mg kg<sup>-1</sup> solo de K<sub>2</sub>O na forma de sulfato de potássio nos dois solos em estudo, sendo estas recomendações utilizadas para todas as profundidades estudadas. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 3 x 5, sendo os fatores 3 espécies de plantas não fixadoras e 5 diferentes profundidades, com três repetições. A colheita da biomassa de cada unidade experimental foi feita logo que as plantas apresentaram deficiência de nitrogênio na parte aérea, o que assegura realmente que as plantas testemunhas obtiveram significativa e representativa amostragem do N disponível para avaliar a marcação de <sup>15</sup>N do N disponível do solo.

### 3.2.5 Balanço de nitrogênio no sistema solo/planta

Através da técnica de balanço de N-total do sistema solo-planta (Alves et al., 1994) pode-se calcular se houve entrada de nitrogênio no sistema de produção e também calcular qual a percentagem deste nitrogênio oriundo da fixação biológica de nitrogênio. Esta técnica consiste em quantificar o N-total do solo no início e no final do experimento descontando-se o N-total acumulado pelas plantas a cada ano. A interpretação dos resultados é que um balanço positivo significa que estaria havendo uma fonte de entrada de nitrogênio no sistema solo-planta. Com o nível de conhecimento atual, acredita-se que este ingresso de nitrogênio só possa ser atribuído ao processo biológico de fixação de nitrogênio.

NFBN = N-total final no sistema solo/planta - N-total inicial no sistema solo/planta

Onde: N-total final no sistema solo-planta = N-total no solo na colheita final + N-acumulado na parte aérea do capim elefante em todas as colheitas; N-total inicial no sistema solo planta = N-total no solo antes do plantio.

Para aplicação desta técnica foram analisadas para N-total do solo amostras de solo das profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm e as diferentes partes das plantas (colmo e folha). O solo foi amostrado no início do experimento e ao final da terceira colheita. Nestas ocasiões, com auxílio de anel de Kopeck, foram retiradas amostras de solo para determinação de sua densidade aparente em cada camada. Assim foi possível determinar a massa de solo existente em cada profundidade e, associando-se os valores encontrados ao teor de nitrogênio do solo, determinou-se o estoque deste nutriente em cada camada.

Na ocasião da colheita, toda a parte aérea foi pesada e amostrada para determinação de seu conteúdo de matéria seca. Estas amostras foram posteriormente moídas em moinho de facas “tipo Wiley” e analisadas para N-total. Assim, foi possível quantificar a contribuição da FBN para a cultura de capim elefante após dois anos de cultivo.

### **3.2.6 Balanço de carbono do sistema solo/planta**

Tendo por base a técnica de balanço de N-total do sistema solo/planta, foi efetuado neste estudo o balanço de carbono total do sistema. Para tanto foram quantificados o C-Inicial do solo (2005), o C-final do solo (2007) e o carbono contido na matéria seca dos diferentes genótipos de capim elefante. Este estudo foi realizado até a profundidade de 80 cm. O balanço foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\text{Balanço de C} = \text{Cfinal do solo} - \text{Cinicial do solo}$$

Onde:

C-final do solo é o conteúdo de carbono no solo no final do experimento na profundidade de 80 cm.

C-inicial do solo é o conteúdo de carbono inicial do solo na profundidade de 80 cm.

Nesta metodologia não foram consideradas perdas de carbono por respiração do solo, ou por decomposição do material orgânico contido no solo.

### **3.2.7 Lavado da biomassa**

Para aprimorar a utilização desta espécie com fonte bioenergética, foram realizados diversos estudos estratégicos para que se possam reduzir cada vez mais os teores de sais, em especial o potássio, no tecido desta cultura, uma vez que estes sais presentes em altos níveis dentro do tecido ocasionam um aumento no teor de cinzas, e em seguida a redução na qualidade do carvão. Com a tentativa de reduzir os teores dos nutrientes através da lavagem do tecido foliar foi realizada a parte um estudo sobre a biomassa de capim elefante. O estudo foi desenvolvido na Embrapa Agrobiologia no período julho-agosto de 2006. Para o estudo empregaram-se plantas maduras (8 meses de idade) de capim elefante, genótipo Cameroon. As plantas cresceram em um Planossolo, arenoso e muito pobre em nutrientes, mas no ciclo em que a cultura foi retirada para este estudo o solo foi adubado com P,K (150 kg P<sub>2</sub>O e 100 kgK<sub>2</sub>O/ha) e micronutrientes (50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR12). Após a colheita, a planta inteira foi moída em picadora de forragens a partículas menores de 3 cm, sendo submetido a diferentes tratamentos de lavagem. Após a aplicação dos tratamentos, o material foi levado a estufa de ar forçado a temperatura de 65°C por 72 horas. Posteriormente, o material seco foi pesado, moído e levado ao laboratório para realização das análises de Cálcio, Magnésio, Fósforo e Potássio.

---

**Tabela 5.** Tratamentos utilizados no ensaio experimental sobre lavado da biomassa

---

**Tratamento 1:** Material moído.(Controle)

**Tratamento 2:**Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água (100g material fresco/1litro)

**Tratamento 3:**Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água, com concentração de álcool a 2%(100g material fresco/1litro).

**Tratamento 4:**Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água, com concentração de álcool a 5%(100g material fresco/1litro).

**Tratamento 5:**Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água a 100°C (100g material fresco/1litro)

**Tratamento 6:**Matrial passado na garapeira manual e posteriormente moído (100g material fresco/1litro).

**Tratamento 7:**Material passado na garapeira manual com posterior aplicação do tratamento 2

**Tratamento 8:**Material passado na garapeira manual com posterior aplicação do tratamento 5.

---

### **3.2.8 Secagem de biomassa de capim elefante para fins energéticos**

Sabe-se que existe uma relação direta entre perda de água e tamanho da amostra. Nestas condições o material demora muito na perda de água, devido possivelmente a seu alto conteúdo de cera na superfície dos colmos, protegendo-os contra a perda de água. Assim, o estudo foi realizado avaliando-se a influencia do tamanho do material (05, 15 e 30 cm) no processo de secagem do material.

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, em março/abril de 2007. Para este estudo foram escolhidos três genótipos (Cameroon, Bag e F06-3) crescidos sem adubação nitrogenada haja visto tratar-se de genótipos altamente eficientes para produção de biomassa e fixação biológica de nitrogênio.

Os tratamentos em estudo são constituídos pela combinação de três genótipos e três tamanhos diferentes de colmos (05, 15 e 30 cm), com três repetições, totalizando 27 unidades de experimentação. De cada material utilizado foram tomadas amostras de aproximadamente 200g (Peso fresco). A determinação da umidade do material foi realizada nos dias 7, 14, 21, 28 de março e 4 de abril.

### **3.2.9 Relação C:N e Relação T/F**

Os procedimentos para determinação destas variáveis são similares ao que foi descrito no experimento I.

### **3.2.10 Análise de fibras**

A metodologia utilizada para as análises de fibras, lignina, celulose e cinzas é a mesma apresentada no experimento I

### **3.2.11 Análise estatística**

Os procedimentos para análise de dados e aplicação dos testes de médias quando o valor F foi significativo foram similares às detalhadas no experimento I.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Seleção de Genótipos de Capim elefante (*Pennisetum purpureum* schum.) para Alta Produção de Biomassa e Eficiência da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) sob Diferentes Condições de Manejo. EXPERIMENTO I.

#### 4.1.1 Rendimento de biomassa

Os resultados apresentados a seguir são relativos aos rendimentos de biomassa obtidos durante 18 meses de cultivo, que corresponde ao período de julho de 2005 a dezembro de 2006, sendo a 1º colheita realizada em dezembro de 2005, e as colheitas posteriores a cada 06 meses. O rendimento total de matéria seca referente ao primeiro e segundo ciclo estudado (Tabela 6) variaram entre 18,7 e 22,9 Mg ha<sup>-1</sup> e 11,1 a 15,40 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, mas no total o rendimento médio de biomassa seca variou ao redor de 34 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

**Tabela 6.** Produção média de biomassa seca (matéria seca) de cinco genótipos de capim elefante, no 1º e 2º ciclo, cultivados em Ponta Ubú, Anchieta-ES.

	Mg MS ha <sup>-1</sup>						
	Junho à Dezembro de 2005			Dezembro de 2005 à Junho de 2006			Total 12 Meses
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
BAG	12,81 a	7,81 a	20,62 a	7,64 a	5,61 b	13,25 ab	33,87 ab
CNPGL F06-3	13,01 a	7,96 a	20,97 a	7,29 a	7,81 a	15,10 a	36,07 a
CNPGL F79-2	13,34 a	9,62 a	22,96 a	7,00 a	6,29 ab	13,29 ab	36,25 a
Gramafante	10,94 a	7,78 a	18,72 a	6,28 a	4,8 b	11,08 b	29,8 b
Cameroon	13,15 a	7,97 a	21,12 a	8,86 a	6,55 ab	15,41 a	36,53 a
Média	12,65	8,23	20,88	7,41	6,21	13,63	34,50
CV %	23,45	26,78	32,3	41,40	32,30	26,20	28,72

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Para esta variável, nos dois ciclos de estudo, não foram observadas interações significativas entre as fontes de variação deste estudo. Para a primeira colheita não foi observada diferença significativa entre os genótipos no que diz respeito a produção de colmos e folhas. Por outro lado, na segunda colheita, o genótipo Cameroon foi o que mais se destacou seguido pelos genótipos F 06-3 e F 79-2. na produção total de biomassa, o genótipo Gramafante se diferenciou estatisticamente dos demais, produzindo o menor valor, com exceção do genótipo Bag.

Os rendimentos obtidos nos dois primeiros ciclos podem ser considerados excelentes se levada em consideração a significativa falta de chuvas no primeiro semestre de 2006, que pode ter influenciado a significativa queda na produção da cultura (**Anexo A**). Estes resultados confirmam a boa seleção de variedades de capim elefante que vem sendo feita para alta produção de biomassa e uso como fonte alternativa de energia (Quesada 2001 e 2005). Em números absolutos, nos doze meses de estudo, os genótipos Cameroon e F06-3 apresentaram os maiores valores para produção de biomassa, da ordem de 36,5 Mg MS ha<sup>-1</sup> e 36,2 Mg MS ha<sup>-1</sup> respectivamente. Deve-se destacar que na segunda colheita a queda na produtividade, em média de 30%, era esperada devida principalmente a diminuição da intensidade de chuvas durante o período crítico de crescimento das plantas, além de diminuição na eficiência metabólica que estes genótipos apresentam ao longo dos ciclos de cultivo.

Os cinco genótipos estudados na Tabela 6, nos dois primeiros ciclos, ao redor de 60% da biomassa vegetal da parte aérea corresponde a colmos, o que corresponde a uma média de 20,5 Mg MS ha<sup>-1</sup> de colmos em 12 meses de crescimento, valor de extrema importância devido a seu alto conteúdo de fibra, lignina, etc. relacionados com a qualidade da biomassa para uso como fonte alternativa de energia. Estas informações são de grande valia para as empresas que precisam de fontes alternativas de energia, como por exemplo, as de siderurgia, no sentido de que para garantir os altos níveis de produção de biomassa será necessário considerar o fator irrigação, especialmente nas áreas com problemas de seca ou de inadequada distribuição de chuvas.

Com relação à influência isolada da adubação com 50 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de uréia, aplicada nos dois primeiros cortes, os resultados do **Anexo B** confirmam a falta de resposta dos genótipos. Estes resultados eram esperados uma vez que esta dosagem foi realizada apenas para complementar uma outra entrada biológica de N, como relatado em experimentos anteriores que alguns dos genótipos relacionados neste estudo possuem um sistema eficiente de obtenção de N do ar via FBN (Quesada et al., 2004; Quesada, 2005; Leite et al., 2007). Magalhães et al. (2006), em estudos com capim elefante (c.v. Napier), observou que a eficiência do nitrogênio aplicado, independentemente da idade do corte e sem irrigação, não respondeu as doses aplicadas, que foram 100, 300 e 450 kg de N ha<sup>-1</sup>. Mistura et al. (2006), estudando a resposta do cultivar Napier a diferentes doses de N e K, observou que a adubação com N-fertilizante não alterou os parâmetros em estudo, como acúmulo de matéria seca e FDA, corroborando com este estudo.

No que diz respeito à influência das doses de nitrogênio aplicadas, os resultados obtidos são muito promissores, pois o comportamento observado na Tabela 6 contribui a reforçar a importância da economia de N-fertilizante no sistema de produção, por ser um insumo que demanda muita energia fóssil na sua produção, qualquer economia no seu uso contribuirá para que a biomassa produzida apresente um balanço energético significativamente positivo.

Os resultados relativos ao terceiro ciclo e o total obtido nos três cortes (18 meses), para os genótipos em estudo, se encontram na Tabela 7.

**Tabela 7.** Rendimento de biomassa (matéria seca) de cinco genótipos de Capim elefante, cultivados em Ponta Ubú, Anchieta-ES, no 3º ciclo e o total obtido nos 18 meses.

	Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )					
	Junho de 2006 à Dezembro de 2006			Rendimento total de biomassa 18 meses		
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total
BAG	6,39 a	3,76 a	10,15 a	26,84 a	17,18 a	44,02 ab
CNPGL F06-3	6,36 a	3,90 a	10,26 a	26,66 a	19,67 a	46,33 ab
CNPGL F79-2	6,40 a	4,71 a	11,11 a	26,74 a	20,62 a	47,36 a
Gramafante	5,67 a	4,05 a	9,72 a	22,89 a	16,63 a	39,52 b
Cameroon	4,87 a	3,30 a	8,17 a	26,88 a	17,82 a	44,7 ab
Média	5,94	3,94	9,88	26	18,38	44,38
CV %	32,30	25,21	19,80	26,25	31,20	18,25

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

Em números absolutos o genótipo que mais se destacou foi o CNPGL F 79-2, seguido pelos genótipos CNPGL F 06-3, Bag e Cameroon. Deve-se considerar a redução do potencial metabólico natural que a cultura apresenta ao passar de um ciclo para outro, a qual ficou em torno de 20% para todos os genótipos estudados.

Esses dados corroboram os obtidos por Quesada (2005) que encontrou uma produção média de 35 Mg MS ha<sup>-1</sup> em 15 meses de cultivo com a aplicação de 80 kg de N fertilizante, trabalhando em um Planossolo e com todos os genótipos deste estudo, com exceção dos genótipos CNPGL F06-3 e CNPGL F 79-2. Estudando a produtividade de quatro genótipos de capim elefante, dentre eles Gramafante, Cameroon e Roxo, Queiroz Filho et al. (1998) encontraram produtividades de 19 Mg MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> mesmo com adubação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de sulfato de amônio, valores bem abaixo dos encontrados nesse estudo, onde se for somado o tempo das duas colheitas, em torno de 15 meses, tem-se produtividades de até 45 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Danalatos et al. (2007) trabalhando com *Miscanthus sinensis*, uma espécie muito similar ao capim elefante, obteve produtividade de 27 Mg MS ha<sup>-1</sup> em nove meses de cultivo, valendo destacar que esta produção foi obtida com a aplicação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>.

A época de crescimento dessa coleta foi, em sua maioria, no período da seca (**Anexo A**), o que pode explicar essas baixas produtividades, além de existir um decréscimo na produtividade de matéria seca das espécies ao longo dos cortes (Santos et al., 2002). A adaptabilidade e o tipo de resposta a cada condição edafoclimática é característica e particular a cada genótipo (Quesada, 2005). Levando em consideração a alta condição de estresse, citada anteriormente, pode-se dizer que a menor produtividade observada no genótipo Gramafante, é devido a menor resistência deste a mudança climática que pode ocorrer principalmente em condições tropicais.

Em relação à produção de matéria seca total, média dos cinco genótipos, que ficaram em torno de 45 Mg MS ha<sup>-1</sup> obtido em 18 meses de cultivo (Tabela 7), os dados são muito promissores principalmente porque apresentam uma forma viável de energia em forma de biomassa, para empresas industriais que desejam substituir suas fontes de energias não renováveis (Urquiaga et al., 2004). Vale salientar que em todos os genótipos em estudo, nas três colheitas, ao redor de 60% da biomassa vegetal da parte aérea corresponde a colmos, o que corresponde a uma média de 26 Mg MS ha<sup>-1</sup> de matéria seca de colmos em 18 meses de crescimento, valor de extrema importância devido a seu alto conteúdo de fibra, lignina, etc relacionados com a qualidade da biomassa para a produção de energia. Estudando a produtividade de quatro genótipos de capim elefante, dentre eles Gramafante e Cameroon.

Em relação à influência das doses de N no rendimento de biomassa no 3º ciclo em estudo (**Anexo C**), não foi observado diferença significativa. A falta de resposta a adubação nitrogenada desta cultura foi observada nos três ciclos de estudo. Observou-se apenas uma leve tendência do aumento do rendimento de biomassa, para colmos e folhas, quando se aplica 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, corroborando com Magalhães et al. (2006) e Mistura et al. (2006).

Como no presente estudo o balanço energético da cultura é de fundamental importância, o mais importante é obter elevadas produtividades no campo sem a utilização de adubação nitrogenada, com baixos custos de produção, o que eleva substancialmente o balanço energético envolvido no sistema de produção, em vez de obter elevadas produtividades que apenas gerariam quantidades de energia equivalentes as que foram gastas para gerá-la. Esses fatos indicam que estes materiais, se bem manejados, são promissores para se estudar como uma forma alternativa de energia, onde se buscam altas produtividades no campo, com baixo custo energético de produção. Ravindranath et al. (2006) comenta sobre as diferentes possibilidades e tecnologias que atualmente estão dispostas com o intuito de minimizar os danos causados ao meio ambiente pelo uso de combustíveis fósseis, destacando o uso da biomassa, como uma das alternativas mais promissoras. Raison et al., (2006) refletindo sobre as alterações das condições ambientais atuais também destaca a importância da racionalização do uso de combustíveis oriundos de fontes não renováveis, e conseqüentemente a substituição destas fontes por meios de energia renováveis, entre elas o uso da biomassa.

#### 4.1.2 Nitrogênio total acumulado

Em relação aos resultados de N total acumulado na parte aérea das plantas nos dois primeiros ciclos de estudo (Tabela 8), os resultados acompanharam, de uma maneira geral, o que ocorreu com a produção de matéria seca (Tabela 6). Novamente não foi observada interação significativa entre os genótipos e as doses de N utilizadas para esta variável. Para a produção de colmos e folhas no 2º ciclo, foi observada diferença estatística significativa. O genótipo que menos acumulou N em seus tecidos foi o Gramafante, diferindo estatisticamente dos demais, com exceção do genótipo Bag para o parâmetro acúmulo e N nas folhas. Em geral valores tão altos com média ao redor de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> foram extraídos em 12 meses pelos genótipos em estudo.

**Tabela 8.** N total acumulado (kg ha<sup>-1</sup>), por cinco genótipos de Capim elefante, 1º e 2º ciclo em Ponta Ubú, Anchieta-ES.

	N Total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )						Total 12 Meses
	Junho à Dezembro de 2005			Dezembro de 2005 à Junho de 2006			
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
BAG	43,6 a	75,64 a	118,90 a	33,19 bc	46,82 a	80,00 a	198,90 a
CNPGL F06-3	32,5 a	78,78 a	111,23 a	46,71 a	49,96 a	96,67 a	207,90 a
CNPGL F79-2	47,67 a	80,92 a	128,59 a	39,02 ab	46,37 a	85,39 a	213,98 a
Gramafante	34,78 a	74,66 a	109,38 a	26,93 c	26,38 b	53,31 b	162,69 b
Cameroon	40,32 a	80,20 a	120,52 a	41,53 ab	55,65 a	97,18 a	217,70 a
Média	39,70	78,04	117,72	37,48	45,04	82,51	200,23
CV %	25,60	30,24	31,33	19,75	24,25	22,25	24,56

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

Os resultados indicam que, embora o estudo esteja sendo conduzido num solo de mediana fertilidade (conteúdo médio de N e C), deve existir um sistema associado ao cultivo desta espécie que esteja promovendo entrada significativa de nitrogênio no sistema. O fenômeno da FBN associado a culturas como esta, em solos tropicais, pode estar assumindo além do papel para a nutrição nitrogenada da cultura, como observado já em trabalhos anteriores (Quesada, 2005), como também para um balanço positivo de C no sistema solo-planta em questão (Urquiaga et al., 2004).

Os altos potenciais observados para acúmulo de nitrogênio também já foram observados em trabalhos anteriores (Samson et al., 2005), o que pode estar explicando a alta adaptabilidade que esta cultura possui ao ser cultivada em solos pobres. Quesada (2005) em estudos num Planossolo com diferentes genótipos, incluindo os genótipos escolhidos para este experimento, obteve resultados similares aos deste estudo, e observou um acúmulo de até 270 kg de N ha<sup>-1</sup> em 15 meses de cultivo, valendo ressaltar que este tratamento é correspondente ao Bag com N fertilizante na dosagem de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Os menores acúmulos foram observados no genótipo Gramafante, sendo observada uma redução em torno de 25% de acúmulo deste nutriente quando comparado com o Cameroon, e em torno de 23% quando comparado com o CNPGL F 79-2. Em relação ao efeito das doses de N aplicadas na variável acúmulo de N pela parte aérea das plantas, no 1º e 2º ciclo, os resultados se encontram no Anexo C. Novamente foi observada a falta de resposta ao adubo nitrogenado pelos genótipos em estudo, sendo observado uma leve tendência de aumento dos valores no tratamento 50 Kg de N.

Os resultados de acúmulo de N na biomassa dos genótipos na 3º colheita e o total obtido nos 18 meses de cultivo, se encontram na Tabela 9.

**Tabela 9.** N total acumulado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), por cinco genótipos de capim elefante, no 3º ciclo e o total obtido nos três ciclos, cultivados em Ponta Ubú, Anchieta-ES.

	N Total acumulado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),					
	Junho à Dezembro de 2006			Junho de 2005 à Dezembro de 2006		
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total
BAG	15,75 a	43,10 ab	58,85 ab	105,83 a	151,93 b	247,76 b
CNPGL F06-3	16,75 a	45,50 a	62,25 a	99,16 a	170,99 a	270,15 a
CNPGL F79-2	17,75 a	51,21 a	68,96 a	111,79 a	171,15 a	282,94 a
Gramafante	15,05 a	33,74 a	48,79 a	76,21 b	135,33 b	221,54 b
Cameroon	14,93 a	49,06 b	63,99 b	110,9 a	170,79 ab	281,69 a
Média	17,36	44,57	61,93	100,78	156,04	256,82
CV %	24,32	31,25	23,25	34,74	29,15	25,61

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p=0,05$ ).

Não foi encontrada interação significativa para o parâmetro avaliado. Na 3ª colheita de acordo com os resultados da Tabela 8, observou-se que no compartimento colmo não foi observado diferença significativa para acúmulo de N, enquanto que para folhas os genótipos CNGL F 06-3 e CNPGL F 79-2 foram os que mais se destacaram. Nesta colheita o genótipo Gramafante foi o que apresentou o menor acúmulo de nitrogênio nas folhas e no total obtido. No total acumulado nas três colheitas os genótipos que mais se destacaram foram, Cameroon, CNPGL F 79-2 e CNPGL F 06-3. Em estudo comparando o efeito do N fertilizante na produção de biomassa de genótipos cultivados em solos pobres neste elemento, Quesada (2005), em média, encontraram valores de  $218 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , em 14 meses de cultivo, acumulados na planta inteira, para o tratamento equivalente a  $80 \text{ kg de N}$  aplicado na forma de uréia. Para o tratamento sem a aplicação de N-fertilizante, encontraram valores de  $130 \text{ kg de N ha}^{-1}$  acumulados na parte aérea e no mesmo intervalo de tempo. Isto vem comprovar que os genótipos estudados, são eficientes em acumular N. De-Polli et al. (1973), em estudo semelhante, encontraram valores de  $34$  e  $62 \text{ kg N ha}^{-1}$  para o capim elefante sem e com a aplicação de N-fertilizante ( $80 \text{ kg N}$ ) respectivamente, ambos com 5 meses de cultivo.

Em relação à colheita anterior, foi observada uma redução no acúmulo de N de aproximadamente 25 %, o que já era esperado pois os dados acompanharam também as tendências de redução observadas no rendimento de biomassa, além de considerar que apenas foi aplicado N-fertilizante nos dois primeiros ciclos.

Em relação à influência das doses de N utilizadas no acúmulo deste nutriente pela planta, no 1º e 2º ciclo (**Anexo C**), não foram observadas resposta da cultura pela adubação realizada, houve apenas uma tendência de aumento quando se aplicou  $50 \text{ Kg de N}$  por hectare. Houve uma redução no acúmulo de N do segundo ciclo para o terceiro, uma vez que esses dados acompanharam a tendência observada para produção de matéria seca. A pequena quantidade de N acumulado nos colmos quando comparado com as folhas, pois acumulando menos nitrogênio neste compartimento, conseqüentemente teremos um aumento nos valores de relação C/N o que associado a altos valores da relação Talo/Folhas e adequados teores de nutrientes pode estar indicando alta qualidade destes materiais para ser carvoejados e/ou para ser usado como fonte direta de energia ou como esqueletos de carbono nas indústrias siderúrgicas. Não foi observada diferença significativa entre os genótipos para acúmulo de N no terceiro ciclo de cultivo, e os dados se encontram no Anexo D.

Os resultados de rendimento de biomassa total, acúmulo de N e C total para todos os genótipos em estudo e para a interação significativa entre os genótipos e as doses de N ( $0$  e  $50 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ), nos três ciclos de estudo encontram-se Tabela 10.

**Tabela 10** - Matéria seca total (Mg ha<sup>-1</sup>), N total acumulado (kg ha<sup>-1</sup>) e carbono total fixado nos três ciclos de estudo, 18 meses, por cinco genótipos de capim elefante, cultivados sob duas doses de N, em Ponta Ubú, Anchieta-ES.

Genótipo	Dose de N	Matéria Seca Mg ha <sup>-1</sup>			C acumulado Mg ha <sup>-1</sup>	N total acumulado kg ha <sup>-1</sup>		
		Colmo	Folha	Total	Total	Colmo	Folha	Total
BAG	0	26,95 a	17,90 a	44,85 a	20,18 a	110,56 a	144,54 a	255,10 a
	50	26,73 a	16,46 a	43,19 a	19,43 a	102,86 a	148,57 a	251,43 a
CNPGL F06-3	0	26,46 a	20,28 a	46,74 a	21,03 a	107,26 a	176,90 a	284,16 a
	50	26,86 a	19,42 a	46,28 a	20,82 a	92,60 a	159,85 a	252,45 b
CNPGL F79-2	0	25,64 a	18,98 a	44,62 a	20,08 a	98,18 b	157,21 a	255,39 b
	50	28,04 a	22,25 a	50,29 a	22,63 a	129,68 a	202,72 a	332,40 a
Gramafante	0	22,82 a	16,56 a	39,38 a	17,72 a	84,07 a	137,16 a	221,23 a
	50	22,96 a	16,69 a	39,65 a	17,84 a	71,39 a	155,03 a	226,42 a
Cameroon	0	26,12 a	16,17 a	42,29 a	19,03 a	108,05 a	139,16 a	247,21 b
	50	27,67 a	19,48 a	47,15 a	21,22 a	115,35 a	168,49 a	283,84 a
Média		26,03	18,42	44,44	19,99	102,00	158,96	260,96
CV %		25,26	32,25	28,21	22,15	21,25	22,21	22,25

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Para acúmulo de C nos tecidos, em geral foram observados rendimentos bem promissores, em torno de 26 Mg ha<sup>-1</sup> de colmo e de 18 Mg ha<sup>-1</sup> de folhas, o que comprova o alto potencial de fixação de CO<sub>2</sub> por estes genótipos. Para acúmulo de N temos em média 102 Kg de N ha<sup>-1</sup> acumulados no compartimento colmo e 158 Kg de N ha<sup>-1</sup> nas folhas, sendo observada significância estatística nos genótipos CNPGL F 79-2 e Cameroon em resposta ao adubo nitrogenado. Deste modo, podemos observar que a cultura se apresenta com alto potencial de acumulação de biomassa e nitrogênio, o que nos indica que estes genótipos podem ser indicados para uso como fonte de energia alternativa. Quanto ao seqüestro de carbono da planta inteira, os resultados também indicam a alta capacidade dos genótipos em estudo em fixar o CO<sub>2</sub> atmosférico. Considera-se que o compartimento de maior importância como fonte de energia é o colmo, podemos classificar como alta a capacidade de produção, em torno de 26 Mg ha<sup>-1</sup> em 18 meses. Vale salientar que atualmente a pesquisa esta em busca da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, e conseqüentemente do equilíbrio no sistema solo-planta-atmosfera. Isto implica no desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente nos sistemas de produção, que envolve a questão bioenergética. A adequação da espécie *Pennisetum purpureum schum* para uso na forma de energia alternativa, também é um desafio. Dentro deste quadro, o compartimento folha ganha destaque, já que em alguns genótipos esta produção foi equivalente a mais de 35 % da biomassa total produzida (Tabela 6), e pode também estar sendo usada com uma fonte direta de energia.

#### 4.1.3 Contribuição da FBN na cultura do capim elefante

Os resultados relativos à contribuição da FBN na nutrição nitrogenada dos genótipos nos três ciclos em estudo encontram-se na Tabela 11.

A contribuição da FBN para o sistema apenas existiu nas parcelas que não receberam dosagem de N fertilizante e que, como não foi observada diferença entre os valores de delta <sup>15</sup>N das diferentes testemunhas utilizadas, nos quatro blocos de experimentação, para efeito dos cálculos da FBN, foram usadas as médias das três testemunhas (Anexo F). Observaram-se nos três ciclos que, as contribuições foram bastante significativas nos dois primeiros ciclos em estudo. Nos três ciclos a média da contribuição via FBN esteve acima dos 34%, mostrando o alto potencial dos genótipos de capim elefante para FBN e os resultados vem a corroborar

com outros estudos (Quesada, 2005; Quesada, 2001). Os resultados da Tabela 11, associado aos resultados de rendimento de biomassa e acúmulo de nitrogênio, mostraram que todos os genótipos em estudo poderiam ser indicados para serem utilizados como fonte de energia alternativa.

**Tabela 11.** Contribuição da Fixação Biológica de Nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, em três colheitas realizadas, em dezembro de 2005 (1° Ciclo), julho de 2006 (2° Ciclo) e Dezembro de 2006 (3° Ciclo), na área experimental da empresa SAMARCO em Anchieta-ES.

Genótipo	% Contribuição da FBN			
	1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo	Média
Bag	32,94 b	45,58 ab	42,30 a	39,00 a
CNPGL F 06-3	47,18 a	53,58 a	34,52 a	46,55 a
CNPGL F 79-2	37,28 ab	54,84 a	39,47 a	43,11 a
Gramafante	31,68 b	33,52 b	37,62 a	33,51 b
Cameroon	33,92 b	42,78 ab	33,44 a	36,87 ab
Média	36,60	46,06	37,47	39,81
CV %	18,21	27,56	22,57	20,33

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p=0,05$ )

\* Média ponderada do N acumulado total na biomassa e a respectiva contribuição da FBN.

No primeiro ciclo, os genótipos que mais se destacaram foram: CNPGL F06-3 e CNPGL F79-2 os quais diferiram estatisticamente dos outros genótipos. Na colheita de junho de 2006 (2° ciclo) todos apresentaram grandes contribuições da FBN, sendo que os genótipos CNPGL F79-2, CNPGL F 06-3 foram os que mais se destacaram, Bag e Cameroon. No terceiro ciclo não houve diferença significativa para valores da contribuição da FBN nos genótipos testados e em termos absolutos, os genótipos CNPGL F06-3 e CNPGL F 9-2, seguidos pelo Bag e Cameroon, os quais acumularam mais nitrogênio em seus tecidos, alcançaram as maiores contribuições de FBN, mostrando o grande potencial destes genótipos para a associação com bactérias fixadoras de nitrogênio. Os resultados de FBN das três colheitas estão de acordo com os dados de: Quesada (2005), Quesada (2001) e Quesada et al., (2003), que encontraram contribuições elevadas de FBN, nos mesmos genótipos apresentados na Tabela 11. Os resultados de FBN associado aos genótipos em estudo nos possibilitam avaliá-los como muito promissores, e indicam cada vez mais a viabilidade do uso desta espécie como fonte alternativa de energia, pois, além de possuir características morfológicas e químicas compatíveis com tal finalidade, pode-se obter ao longo dos anos de cultivo, um balanço positivo de C e N no sistema, principalmente pela forte influência que o processo de FBN esta exercendo no manejo sustentável da cultura, proporcionando um efeito positivo no balanço energético.

Na colheita de jun/dez. 2006 (3° ciclo), as contribuições da FBN foram um pouco menores que no segundo ciclo, com exceção do genótipo Gramafante. Isto pode ser explicado pela diminuição dos índices pluviométricos como mostrado no **Anexo A**. No geral os maiores valores numéricos de contribuição da FBN, estão relacionados com os maiores acúmulos de N nessa colheita e que a maioria dos genótipos, obtiveram percentuais de contribuição próximos à 40% e não diferiram estatisticamente entre si, mostrando o que já vinha sendo encontrado em resultados anteriores, que todos os genótipos possuem capacidade de se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio, e que essa capacidade tem elevado grau de semelhança.

Ainda com relação a influência da FBN no manejo sustentável da cultura, na Tabela 12 encontram-se a quantidade de N total fixado por este processo na nutrição sustentável dos cinco genótipos neste estudo.

**Tabela 12** – Quantidade de nitrogênio derivado da fixação biológica de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, em três ciclos de cultivo, em Anchieta – ES.

Genótipo	N proveniente da FBN (kg/ha)			Total
	1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo	
Bag	39,17 ab	36,46 a	24,89 a	96,29 ab
CNPGL F 06-3	52,48 a	51,80 a	21,49 a	125,76 a
CNPGL F 79-2	47,94 a	46,83 a	27,22 a	121,98 a
Gramafante	34,65 b	17,87 b	18,35 a	74,64 b
Cameroon	40,88 ab	41,57 a	21,40 a	107,16 ab
Média	43,02	38,91	21,24	103,17
CV %	18,21	27,56	22,57	18,91

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Em relação a esta variável nos dois primeiros ciclos deste experimento, observa-se que os genótipos CNPGL F 06-3, CNPGL F 79,2 e Cameroon, foram os que mais se destacaram, diferindo dos genótipos Gramafante e Bag. No terceiro ciclo não foi observada diferença significativa. O baixo potencial de contribuições via fixação biológica de nitrogênio do genótipo Gramafante já era esperado, e estes resultados corroboram com os obtidos por Quesada (2005). Em números absolutos, para as colheitas de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ciclo, as quantidades de N provenientes da fixação biológica de nitrogênio variaram de 34 a 52 kg ha<sup>-1</sup>, 17 a 51 kg ha<sup>-1</sup> e entre 18 a 27 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Nas Tabela 13 encontram-se os resultados relativos ao experimento em vaso que foi feito com o intuito de observar se existe diferenças na abundância natural do <sup>15</sup>N em profundidade. De acordo com os resultados, pode-se observar a variação dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para a média ponderada da planta inteira das diferentes testemunhas utilizadas (Alpiste - *Phalaris canariensis*, Pé de Galinha - *Eleusine indica* e Sorgo - *Sorghum bicolor*) e também para as diferentes profundidades.

**Tabela 13.** Variação da Abundância Natural de <sup>15</sup>N da interação significativa entre as duas fontes de variação deste estudo (Testemunha x Profundidade), na área experimental da empresa SAMARCO, em Anchieta, ES.

Profundidade cm	Testemunhas		
	<i>Phalaris canariensis</i>	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Eleusine indica</i>
0-10	8,47 c	7,88 c	8,12 b
10-20.	11,01 b	11,16 b	12,84 a
20-30	11,63 b	11,43 b	13,25 a
30-50	13,67 a	11,73 b	13,64 a
50-70	13,83 a	14,21 a	13,75 a
Média *	10,64	10,19	11,14
CV %	25,2	25,15	18,13

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

\* Média ponderada da abundância natural de <sup>15</sup>N em relação ao N disponível.

Em relação a variação dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nas diferentes profundidades, que constitui o principal objetivo desse estudo complementar, observou-se diferença significativa entre as profundidades de 30-50 e 50-70 cm em relação as camadas 10-20 e 20-30 cm e também em comparação à primeira camada (0-10 cm), em que foram observados os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ .

Estes resultados, associados aos dados da Tabela 11 e do Anexo F, nos mostra que as testemunhas colhidas no campo no momento da colheita do capim elefante apresentaram valores de  $\delta^{15}\text{N}$  menores que os obtidos na média ponderada do perfil do solo em estudo. Com isto, as testemunhas colhidas no campo no momento da colheita do capim elefante não estão representando o  $\delta^{15}\text{N}$  do N disponível do perfil do solo, e provavelmente estão apenas explorando o N disponível da primeira camada do solo referido no estudo de vaso, o que vem acarretar erros na estimativa de FBN associada ao capim elefante, e provavelmente, a contribuição da FBN no sistema esta sendo subestimada.

Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por Morais et al. (2006), Ledgard et al. (1984) e Piccolo et al. (1996), que também evidenciaram menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nas camadas superficiais do solo. A explicação para este fato pode ter sido ocasionado pela morte das raízes que ocorre de um ciclo para o outro (Faroni et al., 2004).

Dessa forma, a decomposição das raízes do capim elefante, pode favorecer a entrada de N proveniente da FBN nas camadas superficiais do solo, provocando uma diminuição do valor de  $\delta^{15}\text{N}$  dessa camada em relação as outras. De acordo com Ledgard et al. (1984), Piccolo et al. (1996) e Morais et al. 2006, os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  devem ser explicados pela acumulação e transformação de N orgânico que ocorre nas camadas superficiais, concordando assim com os resultados obtidos nesse estudo.

Ao se utilizar a técnica de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  em estimativas da contribuição da fixação biológica de nitrogênio em Gramíneas, a escolha da testemunha e o estudo da variação da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  no perfil, assume uma importância muito grande, uma vez que em algumas situações, principalmente quando o delta  $^{15}\text{N}$  das testemunhas colhidas no campo não é similar ao delta  $^{15}\text{N}$  das testemunhas do experimento de vaso, a contribuição da FBN no sistema poderia não estar sendo representativa (Boddey & Victoria, 1986; Peoples et al., 1989). Dessa forma os resultados de delta  $^{15}\text{N}$  obtidos neste ensaio de vasos foram muito similares aos obtidos no campo no momento da colheita da biomassa das espécies, e não teve diferença significativa. Por isso pode-se dizer que, sendo os valores de delta  $^{15}\text{N}$  das testemunhas dos experimentos de campo e de vasos bem similares, as estimativas da contribuição da fixação biológica e nitrogênio associada à cultura de capim elefante, nos três ciclos em estudo, estão sendo verdadeiramente representativas.

#### **4.1.4 Relação carbono/nitrogênio e relação talo-folha**

Um dos parâmetros de interesse para se avaliar a capacidade que o capim elefante tem em acumular energia, é a relação Carbono/Nitrogênio (C:N) apresentada pela biomassa dos genótipos em estudo. Um outro parâmetro que deve-se avaliar neste estudo é a relação Talo/Folha (T/F) da biomassa produzida pelos genótipos, pois se sabe que os colmos possuem características mais desejadas para uso como fonte de energia alternativa (Samson et al., 2005). As relações C/N e T/F foram calculadas através da divisão do teor de carbono (Pimentel, 1998) pelo teor de nitrogênio acumulado na biomassa seca, e pela divisão do total de biomassa de colmo produzido pelo total de biomassa de folhas produzida, respectivamente. O resultado dos valores apresentados, permite também saber um pouco mais sobre a capacidade que os genótipos de capim possuem em acumular biomassa por unidade de N, o qual está associado com o objetivo deste projeto de pesquisa.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados das três colheitas realizadas quanto a estes parâmetros.

No 1º ciclo não foi observada diferença significativa e em média os genótipos apresentaram valores de relação C/N e T/F próximos a 80 e 1,5 respectivamente.

Quesada (2005), ao realizar um estudo com estes mesmos genótipos cultivados num Planossolo, encontrou uma relação C:N variando de 126 a 156. Tal fato pode ser explicado em função do moderado nível de fertilidade do solo em estudo. Obviamente que se existe uma

disponibilidade de N maior no sistema, a tendência é que as plantas cultivadas neste sistema acumulem mais N por unidade de carbono, do que plantas cultivadas em solos pobres em nitrogênio disponível.

**Tabela 14.** Relação C:N e relação Talo/Folha (T/F) da biomassa produzida por cinco genótipos de capim elefante, crescidos com 2 doses de N, nos três ciclos em estudo, em Ponta Ubú, Anchieta, ES. Dados médios de 4 repetições

Genótipo	N kg ha <sup>-1</sup>	Junho à Dezembro de 2005		Dezembro de 2005 à Junho de 2006		Junho à Dezembro de 2006	
		C:N	T/F	C:N	T/F	C:N	T/F
BAG	0	76,96 a	1,52 a	76,08 a	1,35 a	67,5 b	1,25 a
	50	80,66 a	1,78 a	72,94 a	1,39 a	82,5 a	1,75 a
CNPGL F06-3	0	78,45 a	1,56 a	73,07 a	0,98 a	66,12 a	1,7 a
	50	99,62 a	1,70 a	68,47 a	0,86 a	70,1 a	2,1 a
CNPGL F79-2	0	89,15 a	1,47 a	72,27 a	1,09 a	61,32 a	1,5 a
	50	82,05a	1,33 a	68,04 a	1,16 a	65,75 a	1,6 a
Gramafante	0	82,65 a	1,50 a	79,49 a	1,13 a	67,5 a	1,5 a
	50	77,06 a	1,33 a	58,63 b	2,42 a	70,75 a	1,5 a
Cameroon	0	80,51 a	1,74 a	73,69 a	1,49 a	66,25 a	1,75 a
	50	80,92 a	1,58 a	68,33 a	1,26 a	70,75 a	1,7 a
Média		82,80	1,55	71,10	1,31	68,85	1,64

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

Para Relação C:N, no 2º ciclo de estudo, foi observado significância para a interação entre genótipo e dose de N, sendo que apenas o genótipo Gramafante obteve resposta significativa à adubação nitrogenada, o que promoveu a diminuição da Relação C:N na dose 50 Kg de N. Em linhas gerais, a relação C/N foi menor que no primeiro ciclo, mas ainda são valores considerados altos, ficando em torno de 70 nos três ciclos de estudo.

Esse é um parâmetro qualitativo e secundário desse estudo, e fornece uma idéia da qualidade que os materiais possuem para serem utilizados como fonte de energia alternativa, pois quanto maior a Relação C:N, mais rico em compostos lignificados são os materiais. Quesada (2005), ao realizar um estudo com estes mesmos genótipos cultivados num Planossolo, encontrou uma relação C:N variando de 126 a 156. Tal fato pode ser explicado em função do moderado nível de fertilidade do solo em estudo. Obviamente que se existe uma disponibilidade de N maior no sistema, a tendência é que as plantas cultivadas neste sistema acumulem mais N por unidade de Carbono, do que plantas cultivadas em solos pobres em nitrogênio disponível.

Neste estudo quando se considerou a influência das doses de N-fertilizante aplicadas, nos dois primeiros cortes realizados, e a relação C:N em questão, observou-se que não houve um efeito benéfico significativo ao se adicionar N-fertilizante no sistema. Isto pode ter sido devido a baixa resposta natural dos genótipos a adubação nitrogenada, como a redução natural da relação talo-folha, observado quando a cultura passa de uma colheita para outra.

Em relação aos dados obtidos no terceiro ciclo observou-se diferença estatística significativa apenas para o genótipo BAG. Os valores variaram entre 61,32 e 82,50 para os genótipos F79-2 e Bag respectivamente. Para a relação T/F em média observou-se um pequeno aumento da segunda para a terceira colheita, em torno de 5,5 %, o que mostra a

manutenção da proporção de colmo produzido. Vale ressaltar que nas duas colheitas, as relações C:N ficaram sempre bem abaixo de 100, provando que existe influência direta da fertilidade do solo, o que pode influenciar na qualidade dos materiais para serem queimados (mais rico em fibras, lignina e celulose).

Em números absolutos os genótipos que mais se destacaram foram Bag e Cameroon, seguidos pelo CNPGL F 06-3. Novamente a baixa resposta dos genótipos a adubação nitrogenada, uma vez que para todos os tratamentos a relação C/N foi maior quando se aplicou a dose 50 kg de N. Para a relação T/F os valores encontrados são promissores indicando a alta capacidade destes genótipos em produzir colmos, o qual têm maior importância na usina siderúrgica.

#### 4.1.5 Teores de fibra (FDA), celulose, lignina e cinzas.

Com relação aos teores de fibra, celulose, lignina e cinzas no primeiro ciclo, os resultados são apresentados na Tabela 15. Para a produção de energia através da biomassa de capim elefante, o componente da planta de maior interesse é o colmo. Nesse compartimento, observou-se diferença significativa apenas quando se consideraram os teores de lignina. Comparados com os resultados obtidos por Quesada et al. (2004), os teores de fibra são similares variando de 41 a 54 pontos percentuais.

**Tabela 15.** Teores de fibra (Detergente ácido, FDA), celulose, lignina e cinzas, na biomassa de cinco genótipos de capim elefante, na colheita realizada em dezembro de 2005 (1º corte), na área experimental da empresa SAMARCO, Ponta Ubú, município de Anchieta, ES.

Genótipos	Tratamento	Teores (%)							
		FDA		Celulose		Lignina		Cinzas	
Genótipo	0 e 50 (Kg N/ha)	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha
BAG	0	45,44 a	46,11a	33,83 a	34,17 a	8,27 b	7,92 a	3,69 a	3,58 a
	50	41,61 a	52,20 a	31,47 a	37,94 a	12,1 a	5,92 a	4,22 a	1,44 b
CNPGL F06-3	0	41,66 a	41,65 c	30,15 a	30,15 b	6,40 b	6,41 a	3,09 a	3,09 a
	50	46,88 a	54,79 a	34,85 a	41,94 a	10,20 a	8,28 a	3,47 a	2,50 a
CNPGL F79-2	0	41,62 a	51,40 a	30,32 a	37,30 a	10,60 a	6,88 a	4,46 a	3,02 a
	50	43,09 a	51,12 a	32,85 a	42,88 a	12,28 a	6,22 a	4,72 a	1,48 b
Gramafante	0	41,51 a	49,79 a	29,64 a	35,54 a	12,25 a	6,72 a	5,15 a	1,85 a
	50	42,33 a	53,39 a	30,57 a	39,41 a	12,28 a	6,89 a	4,86 a	1,68 a
Cameroon	0	45,14 a	49,79	34,55 a	37,82 a	11,63 a	6,91 a	3,75 a	1,85 a
	50	42,03 a	53,67 ab	32,24 a	39,53 ab	12,73 a	5,76 a	4,44 a	1,53 a
CV%		8,76	6,69	9,78	11,53	17,09	22,67	58,9	40,2

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Para os teores de lignina, os mesmos variaram entre 6,4 à 12,7 sendo o genótipo CNPGL F 06-3 o único que se diferenciou dos demais genótipos, apresentando os menores teores. Em relação aos teores de cinzas, estes ficaram dentro dos níveis normais das plantas, entre 3,02 e 5,15%, chamando apenas a atenção para as folhas, cujos valores foram sensivelmente menores. Isto vale para todos os genótipos com exceção do genótipo Gramafante.

Os resultados para FDA, lignina, celulose e cinzas presentes nos colmos e folhas dos cinco genótipos na 1º colheita, estão registrados na Tabela 16.

**Tabela 16.** Teor de Fibra detergente ácido (FDA), lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos de cinco genótipos, de capim elefante, na colheita realizada em junho de 2005 (1º corte), cultivados na área experimental da empresa SAMARCO, município de Anchieta, E.S.

Genótipos	Teores (%)							
	Colmo				Folha			
	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas
BAG	43,52 a	6,82 a	32,64 a	3,95 a	49,16 a	10,18 ab	36,06 a	2,52 ab
CNPGL F06-3	44,27 a	7,34 a	32,50 a	4,28 a	48,22 a	8,30 b	36,05 a	3,79 a
CNPGL F79-2	42,35 a	6,50 a	31,58 ab	4,59 a	51,26 a	11,44 a	40,09 a	2,24 b
Gramafante	41,90 a	6,80 a	30,10 b	5,00 a	51,59 a	12,27 a	37,47 a	1,76 b
Cameroon	43,58 a	6,33 a	33,39 a	4,09 a	52,49 a	12,18 a	38,67 a	1,69 b

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

De acordo com os resultados, os genótipos mostraram-se similares e evidenciaram para celulose em colmo uma diferença significativa entre o Gramafante e os demais, onde o primeiro apresentou tendência para valores mais altos no tratamento não nitrogenado. Para os outros parâmetros em avaliação, não foi observado diferença significativa, e todos os genótipos se comportaram de maneira similar. Nos resultados obtidos para folhas observou-se diferenças significativamente maiores para os genótipos CNPGL F 79-2, Gramafante, Cameroon e Bag, para os teores de lignina. Já para cinzas, apenas o genótipo CNPGL F 06-3 apresentou excelente resultados, seguido do genótipo Bag, mas esta diferença não apresenta grande relevância.

Em relação a influência da adubação nitrogenada no acúmulo e nos teores dos parâmetros em questão, os resultados são apresentados na Tabela 17. Pode-se concluir que houve interferência da mesma apenas para os valores relativos a folha, sendo a adição de 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, a dose que permitiu o aumento no teor de fibra, lignina e celulose. Por outro lado, para cinzas não foi observado esta mesma tendência. Para folhas, os teores de FDA acima de 40% superam os resultados que foram encontrados por Santos et al., (2003), estudando 17 genótipos de capim elefante, dentre eles o CNPGL 91 F06-3, presente neste experimento. Estes resultados são muito promissores, e indicam cada vez mais a viabilidade do uso desta espécie como fonte alternativa de energia, pois, além de possuir características morfológicas e químicas compatíveis com tal finalidade, pode-se obter ao longo dos anos de cultivo, um balanço positivo de C e N no sistema, possibilitando o sequestro de C no solo. Ao final deseja-se obter uma fonte alternativa de energia que contribua a mitigar o efeito estufa dentro do contexto da produção siderúrgica sustentável.

**Tabela 17.-**Teores Fibra (FDA), lignina, celulose e cinzas dos cinco genótipos de capim elefante em estudo, na 1º colheita, como efeito da aplicação de duas doses de N, em Ponta Ubú Anchieta, ES.

Genótipos	Teores (%)							
	Colmo				Folha			
Dose de N	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas
0	43,07 a	6,95 a	31,69 a	4,43 a	48,05 b	9,83 b	34,99 b	3,08 a
50	43,18 a	6,60 a	32,39 a	4,34 a	53,04 a	11,92 a	40,34 a	1,72 b

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Para a 2º colheita (Tabela 18) não foi observada interação significativa nos teores percentuais em estudo (FDA, lignina, celulose e cinzas).

**Tabela 18.** Percentual de Fibra em Detergente Ácido (FDA) e os teores de lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos de cinco genótipos, de capim elefante, na colheita realizada em junho de 2005 (2º corte), cultivados na área experimental da empresa SAMARCO, município de Anchieta, E.S.

Genótipos	Teores (%)							
	Colmo				Folha			
	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas
BAG	45,48 a	10,09 ab	34,28 a	1,10 a	41,64 a	8,39 a	30,42 a	2,82 a
CNPGL F06-3	45,61 a	9,79 ab	34,50 a	1,39 a	39,43 a	7,44 a	29,33 a	2,64 a
CNPGL F79-2	46,42 a	9,71 ab	33,75 a	2,87 a	40,59 a	8,15 a	29,96 a	2,47 a
Gramafante	48,75 a	10,77 a	36,86 a	0,93 a	39,09 a	7,94 a	28,81 a	2,33 a
Cameroon	44,45 a	8,88 b	32,97 a	2,5 a	40,21 a	7,55 a	27,25 a	3,13 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Neste ciclo, os percentuais de FDA nos colmos variaram de 44% (Cameroon) à 48,75 (Gramafante) e nas folhas variaram de 39,09% (CNPGL F 06-3) à 41,64% (Bag). Os valores de FDA de colmo sempre maiores que os de folha, estão em conformidade com a literatura (Quesada et al., 2004), e os teores próximos de 50% indicam a boa qualidade desses materiais para serem utilizados com fonte de energia alternativa. Em relação a celulose, o componente de maior valor dentro da FDA, os valores variaram entre 32,97% (Cameroon) e 36,86% (Gramafante) em colmo, parte da planta de maior importância. Porém, para folhas, o genótipo Bag apresentou o maior valor em percentual, da ordem de 30,42 %, não diferindo estatisticamente dos outros tratamentos, mostrando a importância da adequação deste compartimento na utilização industrial. Lemus et al., (2002) apresentaram teores de celulose em média de 37 % o que corrobora com alguns genótipos deste estudo. Quesada (2005) também apresentou teores de celulose em torno de 40% na biomassa de genótipos cultivados num Planossolo, mesmo tipo de solo deste estudo.

Para lignina (Tabela 18), componente mais rico em carbono, e por isso de maior importância para o uso energético, os valores variaram de 8,88% (Cameroon) a 10,77% (Gramafante) para colmos, sendo observado diferença significativa entre o Cameroon e o Gramafante. Para folhas os valores variaram entre 7,44% (CNPGL F 06-3) à 8,39 (Bag). Esses percentuais são mais baixos que os de algumas plantas utilizadas para o mesmo fim, como Eucalipto, por exemplo, mas quando inserida a produtividade e a quantidade de cortes por ano no contexto, o capim elefante leva grande vantagem, pois o Eucalipto leva sete anos para ser cortado, e o capim elefante, nesse manejo, pode ser cortado até 14 vezes (2 cortes/ano), superando substancialmente o Eucalipto em produtividade, compensando um menor percentual de lignina. Estes resultados associados aos dados quantitativos relatados anteriormente, mostram a viabilidade do uso desta espécie como fonte de energia alternativa. Como complemento podem-se citar os trabalhos publicados por Mazzarela et al (2001) e Kauter et al (2006). O primeiro diz que a aplicabilidade da biomassa produzida por esta espécie é ampla, seja na forma de carvão, queima direta ou para produzir eletricidade, e o segundo traz a idéia de que materiais com teores próximos de 10 % lignina, já podem ser testados e/ou utilizados para fins energéticos.

Nas cinzas, componente indesejável num processo de queima de material para a produção de energia (quanto menos cinza melhor), os valores não diferiram estatisticamente para colmos, não ultrapassando 5%, valores esses baixos e satisfatórios para a queima. Esses valores são maiores que os encontrados por Quesada et al., 2004, mas é provável que isso esteja relacionado com o fato de que os resultados apresentados por Quesada et al., (2004), sejam referentes à solos de baixa fertilidade. Para folhas, os valores de cinzas ficaram entre

2,33% (Gramafante) a 3,13% (Cameroon). Lemus et al., (2002) observaram teores de cinzas acima de 6% nos 20 genótipos de switchgrass em que trabalhou nos Estados unidos.

Filho et al. (2000), estudando a qualidade de diferentes genótipos, em diferentes idades de corte, encontraram valores percentuais de 48% para FDA, aos 100 dias de cultivo, média da planta inteira, ficando esses valores um pouco acima dos encontrados neste estudo, se for levado em conta a planta inteira. Estudando a degradabilidade do capim elefante em diferentes estágios de maturidade, Campos et al. (2002) encontraram valores percentuais de 41% para FDA, aos 105 dias, e de 37% e 5%, respectivamente para celulose e lignina, estando esses valores abaixo dos encontrados nas Tabela 18 e Tabela 19. Incrementos nos teores de FDA também foram discutidos por Mistura (2001) e Lopes (2001), em plantas mais desenvolvidas de capim elefante, com fatores climáticos mais favoráveis em relação a este estudo. Valores semelhantes foram encontrados por Savioli et al (2000), que comparando valores de FDA entre várias forrageiras, encontraram teores de 42% para o capim Napier, sendo esse valor maior que as demais forrageiras (Brizanta, Pangola, etc.), ficando abaixo apenas do Colômbio, com 44% de FDA. Esses resultados comprovam que o manejo realizado no presente estudo, com cortes de 6 em 6 meses, propiciou as plantas de capim elefante obterem elevados teores de fibras, celulose e lignina, sendo inversamente proporcional aos teores de proteína bruta.

Os resultados dos teores de fibra, celulose, lignina e cinzas no terceiro ciclo, são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19.** Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na biomassa de cinco genótipos de capim elefante, na colheita realizada em dezembro de 2005 (3º corte), na área experimental da empresa SAMARCO, Ponta Ubú, município de Anchieta, ES.

Genótipos	Tratamento	Teores (%)							
		FDA		Lignina		Celulose		Cinzas	
Genótipo	0 e 50 (Kg N ha <sup>-1</sup> )	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha
BAG	0	50,62 a	42,10 a	10,76 a	6,83 a	39,08 a	34,68 a	0,77 a	0,83 a
	50	50,40 a	42,59 a	10,57 a	7,15 a	38,90 a	34,83 a	0,93 a	0,75 a
CNPGL F06-3	0	57,24 a	42,45 b	8,31 a	6,64 b	48,17 a	34,96 a	0,75 a	0,84 a
	50	53,26 a	53,18 a	9,18 a	9,34 a	43,46 a	35,97 a	1,12 a	0,86 a
CNPGL F79-2	0	46,34 a	42,03 a	11,81 a	6,39 a	33,47 a	34,67 a	1,06 a	0,65 a
	50	43,75 a	42,76 a	11,01 a	7,44 a	31,92 a	34,69 a	0,80 a	0,84 a
Gramafante	0	57,88 a	42,20 a	7,51 b	6,81 a	49,66 a	34,56 a	0,70 a	0,73 a
	50	52,20 a	40,79 a	14,66 a	7,27 a	36,56 b	32,80 b	0,98 a	0,83 a
Cameroon	0	49,90 a	43,21 a	11,76 a	6,98 a	36,80 a	35,56 a	0,60 a	0,67 a
	50	48,50 a	43,25 a	11,16 a	6,60 a	34,04 a	35,88 a	0,82 a	0,76 a
Média		51,01	43,46	10,67	7,15	39,21	34,86	0,90	0,79
CV%		29,50	21,25	31,30	32,52	17,90	31,36	28,08	24,41

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

No compartimento colmo, observou-se diferença significativa quando se consideraram os teores de lignina e celulose, sendo que o genótipo Gramafante apresentou valores menores que os demais. Comparados com os resultados de Quesada et al., (2004), os teores de fibra são similares variando de 40 a 57 pontos percentuais, sendo este fato esperado em função da idade fisiológica dos genótipos. Para os teores de lignina, os mesmos variaram entre 6,4 á 14,66 % sendo que o genótipo CNPGL F 06-3 foi o único que se diferenciou dos demais genótipos no compartimento Folha, apresentando os menores teores. Os valores encontrados

por Savioli et al. (2000) para lignina, foram de 11,5%, semelhantes aos encontrados nesse estudo. Em relação aos teores de cinzas, estes ficaram dentro dos níveis normais das plantas, bem abaixo de 5,0%. Estes baixos teores de cinzas são de extrema importância e de grande valia na finalidade deste estudo, pois esta característica tem relação direta com a qualidade da biomassa em estudo, e assim, quanto menor a percentagem nos tecidos, maior o poder de queima da biomassa. Estes resultados corroboram com os obtidos por Quesada (2005), e nos indica a alta similaridade fisiológica entre estes genótipos, nos três ciclos em estudo.

Os resultados para percentual de FDA e os teores de lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos dos cinco genótipos de capim elefante no 3º ciclo estão na Tabela 20.

**Tabela 20.** Percentual de Fibra em Detergente Ácido (FDA) e os teores de lignina, celulose e cinzas presentes nas folhas e colmos de cinco genótipos, de capim elefante, na colheita realizada em dezembro de 2006 (3º corte), cultivados na área experimental da empresa SAMARCO, município de Anchieta, E.S.

Genótipos	3º Colheita							
	Colmo				Folha			
	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas
BAG	50,51 a	10,67 a	38,99 ab	0,85 a	42,35 ab	6,99 a	34,75 a	0,79 a
CNPGL F06-3	55,50 a	8,74 a	45,81 a	0,94 a	47,81 a	8,49 a	35,47 a	0,85 a
CNPGL F79-2	45,04 a	11,41 a	32,70 b	0,93 a	42,40 ab	6,91 a	34,68 a	0,79 a
Gramafante	55,04 a	11,08 a	43,11 ab	0,85 a	41,50 b	7,04 a	33,68 a	0,78 a
Cameroon	47,85 a	11,46 a	35,42 ab	0,96 a	43,23 ab	6,79 a	35,72 a	0,72 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

No compartimento colmo observou-se diferença nos teores de celulose, com destaque para o genótipo CNPGL F06-3, que diferiu do genótipo CNPGL F 7 9-2. Para as folhas, observou-se diferença significativa apenas nos teores de FDA, sendo o destaque também o genótipo F06-3 que diferiu do Gramafante. Para os outros parâmetros em avaliação, não foram observadas diferenças significativas e todos os genótipos se comportaram de maneira similar. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 20 foi observada entre os genótipos estudados uma diferença significativa para o compartimento colmo e folhas.

Em relação a influência da adubação nitrogenada no acúmulo e nos teores dos parâmetros em questão, são apresentados na Tabela 21. Conforme os resultados apresentados na Tabela 21, pode-se concluir que houve interferência da mesma apenas para os teores de celulose em colmos, sendo que a adição de 50 kg de N por ha, parece ter desfavorecido um aumento no teor desta variável em estudo. Todos os outros teores não foram influenciados pela adição de N fertilizante neste ciclo de estudo. Estes resultados também são bem promissores, pois indicam que a espécie capim elefante possui alta adaptabilidade a solos pobres em nutrientes mantendo a qualidade da biomassa.

**Tabela 21.** Teores percentuais de Fibra, lignina, celulose e cinzas dos cinco genótipos de capim elefante em estudo, como efeito da aplicação de duas doses de N-Fertilizante. Ponta Ubú, Anchieta, ES.

Genótipos	3º Colheita							
	Colmo				Folha			
Dose de N	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas	FDA	Lignina	Celulose	Cinzas
0	52,39 a	10,03 a	41,44 a	0,92 a	42,54 a	6,94 a	34,91 a	0,76 a
50	49,18 a	11,31 a	36,97 b	0,88 a	44,37 a	8,75 a	34,81 a	0,81 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

## 4.2 Balanço de Carbono e Nitrogênio no Sistema Solo-Planta em Cinco Espécies de Capim elefante Cultivados em Diferentes Tipos de Solos. EXPERIMENTO II

### 4.2.1 Rendimento de biomassa

Os resultados apresentados a seguir são relativos ao experimento conduzido em Seropédica-RJ na área experimental da Embrapa Agrobiologia, cujos tratamentos são resultantes da combinação de cinco genótipos de capim elefante (Roxo, Gramafante, CNPGL F 06-3, Bag e Cameroon) crescidos em dois tipos de solos (Argissolo e Planossolo). Os parâmetros avaliados foram: rendimento de biomassa, acúmulo de N, Relação C:N, relação Talo-Folha, e percentuais de FDA, lignina, celulose e cinzas, obtidos durante o período de outubro de 2005 a janeiro de 2007, além do balanço de carbono e nitrogênio no sistema solo-planta, obtido também neste período.

Os resultados de rendimento de biomassa nos 15 meses de cultivo se encontram na Tabela 22.

**Tabela 22.** Resultados globais de rendimento de biomassa (matéria seca) relativos a interação entre cinco genótipos de capim elefante crescidos com dois tipos de solos.

		Biomassa seca Mg ha <sup>-1</sup>					
		10/2005 a 05/2006			05/2006 a 01/2007		
Solo	Genótipo	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total
Argissolo	CNPGL F06-3	17,68 a	8,91 a	26,59 a	11,24 a	10,87 ab	22,11ab
	Gramafante	18,02 a	5,59 a	23,61 a	11,04 a	7,03 c	18,07 b
	Bag	18,11 a	6,17 a	24,28 a	14,86 a	13,03 a	27,89 a
	Roxo	13,01 a	7,24 a	20,25 a	16,88 a	9,17 bc	26,05 ab
	Cameroon	22,21 a	7,32 a	29,53 a	9,26 a	10,86 ab	20,12 ab
Planossolo	CNPGL F06-3	16,78 ab	11,61 ab	28,39 ab	13,88 a	8,94 ab	22,82 a
	Gramafante	21,80 a	7,05 b	28,85 ab	8,32 ab	6,66 ab	14,98 ab
	Bag	18,75 b	9,31 ab	28,06 ab	9,61 ab	8,22 ab	17,83 ab
	Roxo	11,96 b	9,10 ab	21,06 b	12,96 b	5,87 b	18,83 b
	Cameroon	17,62 ab	14,40 a	32,02 a	10,47 a	9,64 a	20,11 a
Média		17,59	8,67	26,26	11,85	9,03	20,88
CV %		24,31	22,15	23,19	21,94	20,55	19,35

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

A produção de matéria seca dos diferentes genótipos para o 1º ciclo variou entre 21 e 32 Mg MS ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Roxo e Cameroon, respectivamente, quando cultivados no Planossolo, e no Argissolo variou entre 20 e 29 Mg MS ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Roxo e Cameroon respectivamente. No segundo ciclo, em geral, as maiores produtividades foram observadas no Argissolo, com exceção do genótipo Gramafante, o qual se diferenciou estatisticamente do genótipo Bag. Para folhas, no 1º ciclo, compartimento que também está sendo avaliado como fonte energética, os valores variaram entre 5,59 e 14,40 Mg MS ha<sup>-1</sup>, para os genótipos Gramafante no Argissolo e Cameroon no Planossolo respectivamente. Resultados similares também foram obtidos por Quesada (2005). No 2º ciclo em geral o rendimento de biomassa total variou entre 14,9 e 22,8 Mg MS ha<sup>-1</sup> para os genótipos Gramafante e CNPGL F 06-3, respectivamente, quando cultivado no Planossolo. No Argissolo os menores rendimentos foram apresentados pelo genótipo Gramafante (18,07 Mg MS ha<sup>-1</sup>), sendo este diferente significativamente do genótipo Bag (27,89 Mg MS ha<sup>-1</sup>).

Em linhas gerais, para rendimento de colmos, nos dois ciclos quando os genótipos foram cultivados no Argissolo, não foi observado diferença significativa, o que não pode ser dito para os genótipos Roxo e Bag, ambos quando cultivados no Planossolo, que diferiram

dos genótipos CNPGL F 06-3, Gramafante e Cameroon, e o genótipo Roxo que apresentou rendimento de colmos superior aos demais no 2º ciclo. Os genótipos BAG, CNPGL F 06-3, somado ao potencial do Cameroon, mais uma vez, comprovam os potenciais para produção de biomassa, alcançando valores de até 52 Mg MS ha<sup>-1</sup> em quinze meses de cultivo.

Os genótipos Roxo e Gramafante obtiveram menores produtividades, ficando em torno 41 Mg MS ha<sup>-1</sup> em 15 meses. Embora menores, os resultados ainda são bem promissores quando se trata da utilização deste material com fonte de energia alternativa. As elevadas produtividades obtidas, em torno de 48 Mg MS ha<sup>-1</sup> em 15 meses e em apenas dois ciclos, foram sem a utilização de N Fertilizante. Esses resultados são de grande importância para as empresas que precisam de fontes alternativas de energia, pois se for realizado um balanço energético e/ou um estudo de custos de produção, a não utilização de adubo nitrogenado, mas com elevada produtividade, acarreta em grande economia de custos e de grande valor (em termos de produção) para a indústria siderúrgica. É de extrema relevância destacar que os rendimentos de biomassa obtidos no 2º ciclo não apresentaram uma redução tão significativa como a observada no experimento I (30%), porque passaram uma época maior no campo em comparação ao primeiro ciclo, o que possibilitou um maior acúmulo de biomassa, além das condições climáticas neste período serem mais favoráveis ao crescimento (**Anexo E**).

Schemer et al (2008) em estudos com *Panicum virgatum* para obtenção de etanol a partir da celulose contida na biomassa, baseou-se numa produtividade média de 8,15 Mg.ha<sup>-1</sup>. Este rendimento é cerca de 75% menor do obtido por Quesada (2005), que obteve uma média de 35 Mg MS ha<sup>-1</sup> em estudos com capim elefante. Na cultura de capim elefante, é possível alcançar um balanço energético de até 21,3 (Samson et al., 2005) e nos estudos realizados por Schemer et al (2008) este alcançou 5,4. Lemus et al. (2002) em estudos com 20 cultivares de *Panicum virgatum*, obteve uma média de 9 Mg ha<sup>-1</sup> ano de biomassa com aplicação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, rendimentos que também podem ser considerados bem abaixo dos obtidos com capim elefante por Quesada (2001e 2005). Danalatos et al. (2007) trabalhando com *Miscanthus giganteus* sob duas doses de N fertilizante (50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup>), observaram que não houve resposta significativa a estes tratamentos, obtendo uma produtividade média de 27 Mg MS ha<sup>-1</sup> em 270 dias de cultivo. Mustafá e Aksoy (2005) trabalhando com esta mesma espécie e com adubação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, observou o melhor rendimento anual de 20 Mg MS ha<sup>-1</sup>, o que está bem abaixo dos encontrados neste estudo. Quesada (2005) encontrou em oito meses de cultivo, valores de até 30 Mg MS ha<sup>-1</sup>, nos genótipos Cameroon e Gramafante sem a aplicação de N-fertilizante num Planossolo, solo similar ao utilizado neste estudo.

Os resultados de rendimento de biomassa dos cinco genótipos de capim elefante em estudo no 1º e 2º ciclo de cultivo no município de Seropédica encontram-se na Tabela 23.

**Tabela 23.** Rendimento de biomassa de cinco genótipos de capim elefante, cultivados na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 1º e 2º ciclo de cultivo, no município de Seropédica, RJ.

Genótipo	Biomassa Mg ha <sup>-1</sup>						Total 15 Meses
	10/2005 a 05/2006			05/2006 a 01/2007			
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
CNPGL F06-3	17,23 ab	10,26 a	27,49 a	12,56 ab	9,9 ab	22,46 a	49,95 a
Gramafante	19,9 a	6,33 a	26,23 ab	9,68 b	6,84 c	16,52 b	42,75 a
Bag	18,43 ab	7,74 a	26,17 ab	12,23 ab	10,63 a	22,86 a	49,03 a
Roxo	13,02 b	8,16 a	21,18 b	14,4 b	7,52 bc	21,92 b	43,1 a
Cameroon	19,91 a	10,86 a	30,77 a	9,86 a	10,26 a	20,12 a	50,89 a
Média	17,70	7,67	26,37	11,75	9,03	20,78	47,14

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Os resultados relativos a colmo são bem promissores, pois representam cerca de 65% do total da biomassa quantificada, o que pode aumentar a eficiência destes genótipos como fonte de energia alternativa. Em linhas gerais, os genótipos que mais se destacaram foram: Cameroon e CNPGL F 06-3 no 1º ciclo, CNPGL F 06-3, Bag e Cameroon no 2º ciclo. Na produção de folhas os genótipos que mais se destacaram nos dois ciclos foram Cameroon, CNPGL F 06-3 e Bag, os quais também apresentaram os maiores valores de produção de biomassa total. Resultados que já foram confirmados anteriormente por Quesada (2005) que testou os mesmos genótipos em nível de campo e em solos muito pobres em N, obtendo também significativas produtividades.

Os valores de rendimento de biomassa e N total acumulado nos dois primeiros ciclos e nas duas classes de solos em estudo encontram-se na Tabela 24.

**Tabela 24.** Rendimento de biomassa e acúmulo de nitrogênio dos dois solos em estudo, na área experimental da Embrapa Agrobiologia, município de Seropédica, R.J.

Solo	Biomassa seca Mg ha <sup>-1</sup>						
	10/2005 a 05/2006			05/2006 a 01/2007			Total
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	15 Meses
Argissolo	18,02 a	7,05 a	25,07 a	11,93 b	10,19 a	22,12 a	47,19 a
Planossolo	17,38 a	10,29 a	27,67 a	13,15 a	7,86 b	21,01 a	48,68 a
Média	17,7	8,67	26,37	12,54	9,025	21,565	47,935

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Para o primeiro ciclo não foi observada diferença significativa para as variáveis em estudo. Por outro lado, no segundo ciclo, houve diferença na produção de colmos sendo que os maiores rendimentos foram observados nos genótipos cultivados no Planossolo e para folhas os valores foram maiores quando cultivados no Argissolo. Em linhas gerais não houve diferença estatística significativa no total produzido durante os quinze meses.

Os resultados de biomassa seca (65°C/72 h) dos diferentes genótipos em estudo nos dois tipos de solos, produzida em 7 meses de crescimento no terceiro ciclo de cultivo e o total da biomassa produzida nas três colheitas realizadas, são apresentados na Tabela 25.

**Tabela 25** Rendimento de Biomassa seca no 3º ciclo e o total obtido das 3 colheitas, relativos a interação entre cinco genótipos de capim elefante crescidos com dois tipos de solos.

Solo	Genótipo	Biomassa seca Mg ha <sup>-1</sup>					
		01/2007 a 08/2007			Matéria seca total (21 meses)		
		Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total
Argissolo	CNPGL F06-3	5,94 ab	4,79 ab	10,73 a	34,86 b	24,57 a	59,43 b
	Gramafante	6,71 a	4,98 ab	11,69 a	35,77 b	17,6 b	53,37 bc
	Bag	8,06 a	6,41 ab	14,47 a	41,03 a	25,61 a	66,64 a
	Roxo	3,34 b	3,35 b	6,69 b	33,23 b	19,76 b	52,99 bc
	Cameroon	6,84 a	5,45 a	12,29 a	38,31 ab	23,63 a	61,94 ab
Planossolo	CNPGL F06-3	4,66 bc	2,28 a	6,94 ab	35,32 a	22,83 a	58,15 ab
	Gramafante	6,14 abc	3,17 a	9,31 a	36,26 a	16,88 b	53,14 b
	Bag	6,64 ab	3,09 a	9,73 a	35,01 a	20,62 ab	55,62 b
	Roxo	3,59 b	1,49 a	5,08 b	28,51 b	16,46 b	44,97 c
	Cameroon	8,34 a	2,61 a	10,95 a	36,43 a	26,65 a	63,08 a
Média		6,03	3,762	9,79	35,47	21,46	56,93
CV %		25,21	19,75	32,15	24,26	23,25	31,25

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Os resultados relativos ao rendimento de biomassa em função dos diferentes solos em estudo foram significativos, sendo que o menor valor foi observado para o genótipo Roxo tanto quando cultivado no Argissolo (6,69 Mg MS ha<sup>-1</sup>) quanto cultivado no Planossolo (5,08 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo que os demais genótipos foram superiores nos dois ambientes. Em relação aos dados de biomassa inteira no terceiro corte nos dois solos em estudo, os genótipos Bag, Cameroon e Gramafante foram os que mais se destacaram, diferindo estatisticamente do genótipo Roxo, que apresentou a mais baixa produção de biomassa seca (6,69 Mg MS ha<sup>-1</sup>). Ainda vale destacar que as condições climáticas predominantes na região durante o 1º e 3º ciclo, foram fortemente marcadas pela estação seca do ano, o que parece ter influenciado um pouco o crescimento da cultura. Em relação a produtividade acumulada ao longo dos três ciclos, os rendimentos são muito promissores e vem confirmar o alto potencial de produção de biomassa dos genótipos em estudo. Deve-se destacar a estabilidade de rendimento dos genótipos Cameroon, CNPGL F 06-3 e BAG 02, que conseguiram produzir rendimentos superiores 60,0 Mg MS ha<sup>-1</sup> em 21 meses de cultivo (3 ciclos de estudo). Além disso, nos dois solos em estudo, a fertilidade e a disponibilidade de N é muito baixa, o que evidencia a elevada capacidade de adaptação destes genótipos aos solos tropicais. O experimento, a cada colheita, foi adubado com P, K e micronutrientes, corretamente, com base na análise de solo. Cunha et al (2007), trabalhando com diferentes genótipos de Capim elefante, observou que as características morfológicas e estruturais da biomassa produzida pelas espécies foi fortemente influenciada pela estação seca do ano e que a resposta a estas condições climáticas desfavoráveis é intrínseca e distinta a cada genótipo. Barreto et al., 2007 trabalhando com genótipos de capim elefante, entre eles o Cameroon e Roxo, observaram influência negativa do estresse hídrico no rendimento de biomassa de capim elefante, e a resposta a este estresse foi diferente entre os genótipos sendo o Cameroon o genótipo que menos foi afetado, ao contrário do genótipo Roxo, o que também corrobora com este estudo, principalmente nas colheitas em que a fase de crescimento dos genótipos de capim elefante foi durante a estação seca do ano.

#### 4.2.2 Nitrogênio total acumulado pela cultura

Em geral os resultados de acúmulo de nitrogênio acompanharam a tendência que foi observada para produção de biomassa (Tabela 26).

**Tabela 26.** N total acumulado de cinco genótipos de capim elefante, nos dois primeiros ciclos, crescidos em dois tipos de solos.

		N total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )						
		10/2005 a 05/2006			05/2006 a 01/2007			Total
Solo	Genótipo	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	15 Meses
Argissolo	CNPGL F06-3	31,5 a	73,74 a	105,24 a	16,11 a	112,67 a	128,7 a	234,02 a
	Gramafante	31,25 a	37,52 a	68,77 a	12,47 a	69,81 a	82,28 b	151,05 a
	Bag	43,15 a	55,24 a	98,39 a	24,37 a	116,92 a	141,2 a	239,68 a
	Roxo	32,3 a	62,25 a	94,55 a	20,05 a	104,93 a	124,9 a	219,53 a
	Cameroon	41,52 a	64,75 a	106,27 a	15,99 a	117,91 a	133,9 a	240,17 a
Planossolo	CNPGL F06-3	20,13 a	96,25 ab	116,38 ab	37,6 a	97,71 a	135,3 a	251,69 a
	Gramafante	28,25 a	64,13 b	92,38 b	29,06 a	64,4 a	93,46 b	185,84 a
	Bag	28,57 a	88,51 ab	117,08 ab	28,96 a	92,38 a	121,3 a	238,42 a
	Roxo	22,76 a	94,5 ab	117,26 ab	22,73 a	61,1 a	83,83 b	201,09 a
	Cameroon	21,55 a	140,2 a	161,78 a	42,98 a	95,84 a	138,8 a	300,6 a
Média		30,10	77,71	107,81	25,03	93,37	118,4	226,21
CV %		35,39	43,35	32,74	38,78	29,95	31,12	26,25

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

No que diz respeito aos valores observados, em geral, nos dois ciclos estudados, podemos dizer que houve uma maior tendência dos maiores acúmulos ocorrerem quando os genótipos são cultivados no Argissolo. Este fato pode ser explicado pela maior disponibilidade de nitrogênio que este solo apresenta, quando comparado ao Planossolo, o que possibilita um maior acúmulo deste nutriente no tecido da planta. A faixa do consumo de luxo deste nutriente, que é a faixa onde não se observa aumento de produção quando se aumenta a disponibilidade do mesmo, é bem extensa e a curva se comporta similarmente a outros macronutrientes. Por esta razão em alguns genótipos, as maiores produtividades foram observadas no Planossolo. Considerando os quinze meses de estudo, o genótipo Cameroon foi o que acumulou mais nitrogênio na parte aérea, nos dois solos em questão, seguido pelos genótipos BAG e CNPGL F06-3. Isso mostra a capacidade que estes genótipos possuem em absorver nitrogênio, e transformar em produtividade, pois estes genótipos foram os mesmos que obtiveram as maiores produtividades.

Os resultados observados para acúmulo de N são muito promissores principalmente no sentido do balanço energético da cultura que é de extrema importância para o objetivo deste trabalho, pois se tem o crescimento de culturas exigentes em N como o capim elefante, em solos com disponibilidade relativamente baixa deste nutriente, pode-se esperar que o sistema de fixação biológica de nitrogênio associado a cultura venha a ser mais acentuado e assim assumir uma fonte importante de entrada de N no sistema, promovendo, cada vez mais, a auto sustentabilidade da cultura e um balanço energético mais positivo.

Em relação ao acúmulo de nitrogênio (Tabela 27) para os genótipos estudados, os resultados acompanharam o rendimento de biomassa discutido anteriormente.

**Tabela 27.** Resultados de acúmulo de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante, cultivados na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 1º e 2º ciclo de estudo, no município de Seropédica, R.J.

Genótipo	N total acumulado kg ha <sup>-1</sup>						Total 15 Meses
	10/2005 a 05/2006			05/2006 a 01/2007			
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
CNPGL F06-3	25,75 b	85,02 ab	110,77 ab	26,85 a	105,24 a	132,09 a	242,86 a
Gramafante	29,75 ab	50,75 b	80,5 b	20,76 a	67,1 b	87,86 b	168,36 c
Bag	35,75 a	71,75 ab	107,5 ab	26,66 a	104,65 a	131,31 a	238,81 ab
Roxo	27,37 ab	78,37 ab	105,74 ab	21,39 a	83,01 ab	104,4 ab	210,14 bc
Cameroon	31,5 ab	102,37 a	133,87 a	29,48 a	106,88 a	136,36 a	270,23 a
Média	30,02	77,65	107,68	25,03	93,38	118,40	226,08

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

O genótipo Cameroon se destacou dos demais e, em geral, só foi observado diferença significativa quando este é comparado ao genótipo Gramafante.

Os resultados de N total acumulado nos dois ciclos em estudo, observadas da influência dos distintos solos em estudo encontram-se na Tabela 28. Para o primeiro ciclo não foi observada diferença significativa para as variáveis em estudo. Por outro lado, no segundo ciclo, houve diferença na produção de colmos sendo que os maiores rendimentos foram observados nos genótipos cultivados no Planossolo. No total de 15 meses a maior quantidade de N acumulado pela cultura foi observada no Planossolo, com um acúmulo superior a 8% quando comparado com a média obtida no Argissolo.

**Tabela 28.** Resultados do acúmulo de nitrogênio pela cultura de capim elefante nos dois solos em estudo, na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 1º e 2º ciclo no município de Seropédica, R.J.

Solo	N total acumulado kg ha <sup>-1</sup>						Total 15 Meses
	10/2005 a 05/2006			05/2006 a 01/2007			
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
Argissolo	35,85 a	58,65 a	94,5 a	17,8 b	104,41 a	122,21 a	216,71 a
Planossolo	24,2 a	98,65 a	122,85 a	32,26 a	82,29 a	114,55 a	237,4 a
Média	30,02	78,65	108,67	25,03	93,35	118,38	227,055

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Os resultados de nitrogênio total acumulado no terceiro ciclo e o total obtido nos três ciclos do estudo encontram-se na Tabela 29.

**Tabela 29-** Resultados de acúmulo de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante, cultivados na área experimental da Embrapa Agrobiologia, no 3º ciclo de estudo, no município de Seropédica, R.J.

Genótipo	01/2007 a 08/2007			Total nos 3 ciclos (21 meses)		
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total
CNPGL F06-3	30,74 b	25,49 a	56,23 a	83,34 ab	215,75 ab	299,09 ab
Gramafante	39,50 ab	28,29 a	67,79 a	90,01 a	146,14 c	236,15 b
Bag	53,40 a	33,06 a	86,46 a	115,81 a	209,46 ab	325,27 a
Roxo	28,48 b	16,07 a	44,55 a	77,24 b	177,45 bc	254,69 b
Cameroon	30,37 b	41,42 a	71,79 a	91,35 a	250,67 a	342,02 a
Média	36,49	28,86	65,36	91,55	199,89	291,44
CV %	26,27	39,72	19,13	21,22	32,25	20,41

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Os valores no terceiro ciclo variaram entre 44 e 86 kg N ha<sup>-1</sup> para os genótipos Roxo e Bag, respectivamente, e entre 236 e 342 kg N ha<sup>-1</sup> no somatório de nitrogênio acumulado nos três ciclos de cultivo para os genótipos Gramafante e Cameroon respectivamente. Em relação ao teste de médias, foi observado diferença significativa e os genótipos Cameroon e Bag foram os que mais se destacaram. Ainda vale salientar que os valores obtidos até o momento, nas três colheitas, são muito promissores e demonstram o alto potencial de acúmulo de N pela biomassa vegetal produzida por estes genótipos.

Deve-se destacar ainda que, obtendo-se elevadas produtividades em solos de baixa fertilidade, como é o caso dos solos em estudo, comparado com outros onde esta cultura é empregada na nutrição animal (Fagundes et al., 2007; Magalhães et al., 2006; Andrade et al., 2005; Obeid et al., 1984), esta forma de manejo contribui significativamente para a economia e o balanço energético desta cultura para seu uso como fonte de bioenergia, uma vez que os adubos nitrogenados são um dos insumos de maior custo, não apenas econômico senão também do ponto de vista energético (Quesada et al., 2000). Desta forma, os genótipos que consigam obter altas produtividades com consumo nulo ou mínimo de N-fertilizante, serão os mais eficientes para uso como fonte de energia renovável. Os resultados são apresentados na Tabela 26.

#### 4.2.3 Contribuição da fixação biológica de nitrogênio no sistema solo-planta

Em relação a FBN, os genótipos mostraram-se com alta capacidade de obtenção de N via fixação associativa nos três ciclos de cultivo (Tabela 30).

**Tabela 30.** Contribuição percentual da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), na nutrição nitrogenada de 5 genótipos de capim elefante, relativos ao 1º, 2º e 3º ciclo de cultivo, crescidos em dois tipos de solos, em Seropédica, RJ.

Solo	Genótipo	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Média*
Argissolo	CNPGL F06-3	31,71 a	41,52 ab	33,88 ab	36,48 a
	Gramafante	30,90 a	40,09 ab	30,72 ab	34,30 a
	Bag	34,85 a	29,43 b	33,34 ab	32,10 a
	Roxo	21,20 b	43,13 a	23,35 b	31,94 a
	Cameroon	30,21 a	43,06 a	37,89 a	37,49 a
Planossolo	CNPGL F06-3	51,46 a	41,55 ab	35,80 a	44,25 a
	Gramafante	38,44 ab	42,23 ab	39,44 a	40,10 a
	Bag	35,61 ab	40,84 b	38,80 a	38,41 ab
	Roxo	29,65 b	34,94 ab	22,08 a	30,08 b
	Cameroon	37,42 ab	47,22 a	44,04 a	42,35 a
CV %		20,17	17,91	18,14	21,20

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p=0,05$ )

\* Média ponderada do N acumulado total na biomassa e a respectiva contribuição da FBN.

Vale destacar que foi observada diferença estatística significativa para os genótipos cultivados nos dois tipos de solos e que, para efeito do cálculo desta contribuição para a cultura de capim elefante, como não foi observada diferença entre os valores de delta  $^{15}\text{N}$  das diferentes testemunhas coletadas no campo no momento da colheita do experimento, nos três ciclos, foram usadas às médias das três testemunhas (**Anexo G**, **Anexo H**, **Anexo I**). Em geral os maiores valores de FBN foram observados quando os genótipos foram cultivados no Planossolo, provavelmente por este solo apresentar uma menor disponibilidade de nutrientes para as plantas, principalmente nitrogênio. Além disso, o rendimento de biomassa e o acúmulo de N não foram influenciadas pela diferença de fertilidade dos solos, o que mostra a relação entre contribuição da FBN e acúmulo de N para os genótipos cultivados em solos pobres em N-disponível. Estes fatos já eram esperados e corroboram com os dados de Quesada (2005). Este fenômeno positivo de aporte de nitrogênio pela FBN, associado a culturas como o capim elefante em solos tropicais, pode suplantar o papel importante da nutrição nitrogenada da cultura como observado já em trabalhos anteriores Quesada (2001 e 2005) favorecendo amplamente o balanço positivo de C e N no sistema solo-planta (Urquiaga et al., 2004).

Em termos absolutos, o genótipo Cameroon junto com o genótipo CNPGL F 06-3, foram os genótipos que mais acumularam nitrogênio em seus tecidos, e alcançaram as maiores contribuições de FBN, mostrando mais uma vez o grande potencial destes genótipos para associação com bactérias fixadoras de nitrogênio. Os resultados de FBN das três colheitas, estão de acordo com os dados de literatura, como por exemplo os de Quesada. (2001) e Quesada et al. (2003), que também encontraram contribuições próximas de 40%.

Os resultados de FBN apresentados são muito promissores para o objetivo deste estudo, que trata da utilização da biomassa produzida por estes genótipos como fonte de energia alternativa e corroboram com os obtidos por Quesada (2005).

Em relação a esta variável durante os três ciclos deste experimento, nos dois tipos de solos, observou-se que os genótipos Cameroon, BAG e CNPGL F 06-3 foram os que mais se destacaram. O baixo potencial de obter contribuições via fixação biológica de nitrogênio dos genótipos Gramafante e Roxo já era esperado, e estes resultados corroboram com os obtidos por Quesada (2005). Em números absolutos, para as colheitas de 1º, 2º e 3º ciclo, as quantidades de N provenientes da fixação biológica de nitrogênio variaram de 19 a 55 kg ha<sup>-1</sup>, 28 a 66 kg ha<sup>-1</sup> e entre 11 a 38 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os resultados do estudo da influência da FBN no manejo da nutrição sustentável dos cinco genótipos de capim elefante neste estudo, encontram-se Tabela 31.

**Tabela 31** Quantidade de nitrogênio derivado da fixação biológica de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, em três ciclos de cultivo (21 meses), em Seropédica – RJ.

Solo	Genótipo	N proveniente da FBN (kg ha <sup>-1</sup> )			Total
		1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	
Argissolo	CNPGL F06-3	32,75 a	53,88 a	23,31 ab	109,95 a
	Gramafante	20,72 b	33,46 b	24,18 ab	78,36 b
	Bag	34,14 a	41,33 ab	32,63 a	108,09 a
	Roxo	20,31 b	53,56 a	12,03 b	85,90 b
	Cameroon	37,63 a	58,22 a	36,71 a	132,56 a
Planossolo	CNPGL F06-3	61,40 a	57,75 a	15,07 ab	134,22 a
	Gramafante	35,64 b	40,38 bc	22,41 ab	98,43 ab
	Bag	42,03 b	51,92 ab	31,71 a	125,66 a
	Roxo	34,60 b	28,09 c	8,97 b	71,66 b
	Cameroon	62,72 a	65,43 a	17,03 ab	145,18 a
CV %		32,21	28,15	36,45	32,26

Em cada coluna os valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p=0,05)

Nos dois solos em estudo, Argissolo e Planossolo, foram feitos os estudos de verificação das diferenças na abundância natural do <sup>15</sup>N em profundidade, na Tabela 32.

**Tabela 32.** Variação da Abundância Natural de <sup>15</sup>N das diferentes testemunhas e profundidades utilizadas, na área experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ.

Testemunha	Argissolo	Planossolo
	Delta <sup>15</sup> N	
<i>Panicum millaceum</i>	7,02 a	6,88 a
<i>Cynodon dactylon</i>	7,68 a	7,70 a
<i>Sorghum bicolor</i>	7,33 a	7,87 a
Média	7,34	7,48
Profundidade	Argissolo	Planossolo
0-10	6,25 b	6,02 b
10-20.	7,33 a	7,53 a
20-30	7,42 a	7,68 a
30-50	8,02 a	7,75 a
50-70	7,25 a	8,42 a
Média *	7,17	7,36
CV %	20,22	18,15

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

\* Média ponderada da abundância natural de <sup>15</sup>N em relação ao N disponível.

Observou-se, pela análise dos resultados na Tabela 32, a variação dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para a média ponderada da planta inteira das diferentes testemunhas utilizadas (*Alpiste - Phalaris canariensis*, Pé de Galinha - *Eleusine indica* e Sorgo - *Sorghum bicolor*), nas diferentes profundidades. Não foi observada diferença significativa entre as testemunhas utilizadas e por isso os valores apresentados na tabela 32 são relativos a média dos valores de abundância natural de <sup>15</sup>N das três testemunhas. Pode-se dizer que a abundância natural de <sup>15</sup>N do solo, teve pouca variação e que em geral as espécies empregadas como testemunhas

tiveram similar comportamento. Em relação a variação dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nas diferentes profundidades, que constitui o principal objetivo desse estudo complementar, observou-se diferença significativa entre a camada de 0-10 e as demais, nos dois solos em estudo.

Considerando que as testemunhas colhidas no campo no momento da colheita do capim elefante apresentaram valores de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  bem próximas aos valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  do experimento de vaso, pode-se considerar que a contribuição da FBN na nutrição nitrogenada do capim elefante foi bem estimada. (**Anexo G, Anexo H, Anexo I**).

Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por Morais et al. (2006), Ledgard et al. (1984) e Piccolo et al. (1996), que também evidenciaram menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nas camadas superficiais do solo, valendo ressaltar que este último trabalhou com diferentes tipos de solo do Brasil. Ainda vale destacar que os resultados de  $\delta^{15}\text{N}$  obtidos nos ensaios de vaso, para os dois solos em estudo, foram muito similares aos obtidos no campo no momento da colheita da biomassa das espécies, e não teve diferença significativa. Por isso podemos concluir que, sendo os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das testemunhas dos experimentos de campo e de vaso bem similares, as estimativas da contribuição da fixação biológica e nitrogênio associada à cultura de capim elefante, nos três ciclos em estudo, estão sendo bem representativos.

Nos dois solos em estudo, os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foram observados na camada de 0-10 cm, o que pode ter relação direta com a decomposição das raízes do capim elefante, que pode ter favorecido a entrada de N proveniente da FBN nestas camadas superficiais do solo, provocando uma diminuição do valor de  $\delta^{15}\text{N}$  dessa camada em relação as outras. De acordo com Ledgard et al. (1984), Piccolo et al. (1996) e Morais et al. 2006, os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  devem ser explicados pela acumulação e transformação de N orgânico que ocorre nas camadas superficiais, concordando assim com os resultados obtidos nesse estudo.

#### 4.2.4 Balanço de nitrogênio no sistema solo-planta

Associando-se então o N-total acumulado pela parte aérea e o N-total contido no solo no início e no final do período de avaliação (2005-2007), foi possível fazer o balanço de N-total do sistema solo-planta (Tabela 33).

**Tabela 33-** Contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) estimado pelo balanço de N total no sistema solo-planta em 05 genótipos de Capim Elefante cultivados num Argissolo, durante 21 meses (3 cortes) em Seropédica-RJ.

Genótipos	Solo		N-total Parte Aérea	Balanço 0-80 cm*	FBN %
	Inicial	Final			
kg de N ha <sup>-1</sup>					
CNPGL F06-3	10680,09 b	10523,57 b	297,43 ab	140,91 ab	47,38 a
Gramafante	11716,52 ab	11609,07 ab	239,99 b	132,54 ab	55,23 a
Bag	10840,10 b	10671,91 b	318,55 a	150,36 ab	47,20 a
Roxo	11159,26 b	10982,75 b	245,16 b	68,65 b	28,00 b
Cameroon	12459,73 a	12293,48 a	350,05 a	183,80 a	52,51 a
Média	11371,14	11216,16	291,44	136,46	46,8
CV %	26,12	18,21	32,51	21,22	31,32

Em cada coluna os valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey (  $p=0,05$ ).  
\*Balanço de N-total do sistema = (N final do solo + N acumulado pela planta em 3 colheitas) – N inicial do solo.

O nitrogênio inicial do sistema solo-planta foi composto pelo N-total no solo na ocasião do plantio e o nitrogênio final do sistema é o resultado do somatório do N do solo no fim do experimento e do nitrogênio acumulado pela parte aérea das plantas nas 03 colheitas. A diferença entre a quantidade de nitrogênio final e o inicial do sistema, é o balanço de

nitrogênio. Nota-se pela Tabela 34 que o resultado deste balanço considerando 80 cm de profundidade do Argissolo, foi positivo para todos os tratamentos sendo que os genótipos que mais se destacaram foram: Cameroon, Bag e CNPGL F 06-3 cujos valores de balanço foram 183,30, 150,36 e 140,91 kg N ha<sup>-1</sup>.

Os resultados são bem promissores e indicam que, em média, a taxa de entrada de N no sistema solo-planta é de 78 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> podendo chegar a uma taxa superior a 100 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> quando se considera a influência de cultivo do genótipo Cameroon, o qual obteve o maior acúmulo de nitrogênio em seus tecidos. Nas três colheitas realizadas não foram realizadas adubações com N-fertilizante e o solo apenas foi corrigido quanto aos teores de K e P no solo, além dos micronutrientes na forma de FTE BR-12.

Isto mostra a alta adaptação a solos pobres em N-disponível destes genótipos e evidencia a alta interferência da fixação biológica de nitrogênio neste sistema de produção. Samson et al. (2005) e Quesada (2005) já discutiram sobre o uso destas espécies como fonte renovável de energia, sendo seu balanço energético de potencial 21,3, o que associado à manutenção dos estoques de C e N no solo, e seus parâmetros qualitativos, nos mostra ainda mais o alto potencial de uso destes genótipos para tal finalidade. Os resultados relativos ao balanço de N quando os genótipos foram cultivados no Planossolo são mostrados na Tabela 34.

**Tabela 34-** Contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) estimado pelo balanço de N total no sistema solo-planta em 05 genótipos de capim elefante cultivados num Planossolo, durante 21 meses (3 cortes) em Seropédica-RJ.

Genótipos	Solo		N-Total Parte Aérea	Balanço 0-80 cm*	FBN %
	Inicial	Final			
	kg de N ha <sup>-1</sup>				
CNPGL F06-3	6052,38 ab	5899,99 ab	307,91 ab	155,52 ab	50,5 a
Gramafante	6578,05 a	6445,35 a	253,63 b	120,92 bc	47,7 a
Bag	6612,49 a	6453,81 a	324,84 ab	166,16 ab	51,2 a
Roxo	5740,05 b	5586,97 b	245,64 b	92,56 c	37,7 b
Cameroon	6187,82 ab	6008,18 ab	372,37 a	192,73 a	51,8 a
Média	6234,16	6078,86	300,88	145,58	46,8
CV %	24,32	23,12	25,75	26,71	28,51

Em cada coluna os valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey ( p=0,05).  
\*Balanço de N-total do sistema = (N final do solo + N acumulado pela planta em 3 colheitas) – N inicial do solo.

Considerando-se toda a profundidade de solo avaliada (0-80cm), nota-se que os genótipos Cameroon, Bag e CNPGL F 96-3 apresentaram os maiores balanços de N, mostrando diferença significativa em relação aos genótipos Roxo e Gramafante, que apresentaram um menor balanço, embora positivo.

Pela Tabela 35 observa-se que o resultado deste balanço considerando 80 cm de profundidade do Planossolo foi positivo para todos os tratamentos sendo que os genótipos que mais se destacaram foram: Cameroon, Bag e CNPGL F 06-3 cujos valores de balanço foram 192,73, 150,36 e 140,91 kg N ha<sup>-1</sup>. Os resultados são bem promissores e indicam que, em média, a taxa de entrada de N no sistema solo-planta é de 83 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> podendo chegar a uma taxa superior a 110 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> quando consideramos o genótipo Cameroon., o qual obteve o maior acúmulo de nitrogênio em seus tecidos.

Comparando os resultados das tabelas 30, 33 e 34, observa-se que os resultados de contribuição da FBN, pela técnica do balanço de N-total, foram bem próximos aos resultados obtidos pela técnica de abundância natural de <sup>15</sup>N, mostrando que a contribuição da FBN na nutrição nitrogenada de capim elefante foi bem estimada.

Neste caso mostra-se a importância de se trabalhar com mais de uma técnica para a quantificação da FBN. No trabalho realizado com cana-de-açúcar, por Urquiaga et al., (1992), se trabalhou com a técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$  para quantificar a FBN em diferentes variedades de cana, durante 3 anos consecutivos. Os valores de contribuição da FBN foram confirmados pela técnica de balanço do N-total no sistema solo-planta no mesmo estudo, corroborando, neste sentido, com os resultados apresentados anteriormente nas 33 e 34. No trabalho realizado por Xavier (2006) também se utilizou a técnica de balanço de N total para corroborar os resultados obtidos com a técnica de diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$  e abundância natural de  $^{15}\text{N}$ .

Esses resultados confirmam o potencial para FBN de alguns genótipos como Cameroon e BAG, concordando com os trabalhos de outros autores que afirmam que a fixação biológica de nitrogênio é responsável por boa parte da necessidade nitrogenada da cultura do capim elefante. (Quesada, 2005). Este fato fica bem claro quando observamos que após 2 anos de cultivo e três cortes, sem nenhuma aplicação de N-fertilizante, para a maioria dos genótipos em estudo não ocorreu uma redução dos níveis de nitrogênio do solo, e principalmente levando em consideração que a cultura apresenta alta extração de nitrogênio.

O ganho de nitrogênio no solo com o cultivo de capim elefante, nos dois solos em estudo, variou com o genótipo avaliado, sendo que o genótipo que mais influenciou nestes dois sistemas foi o Cameroon, seguido pelo Bag e CNPGL F06-3. Vale salientar que com esta técnica usualmente estima-se a contribuição da FBN para as plantas. Um balanço positivo significa exatamente a contribuição desta fonte às plantas. No entanto, é sabido que neste estudo esta quantidade está subestimada uma vez que as perdas do sistema não foram consideradas, admitindo-se portanto que todo o nitrogênio contido no solo, ficaram no sistema, desprezando-se as perdas por desnitrificação, lixiviação e volatilização de nitrogênio.

#### 4.2.5 Balanço de carbono no sistema solo.

Na ocasião da instalação do experimento em 2005, foram feitas análises de carbono do solo nas profundidades 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. Assim foi possível fazer o balanço de carbono do sistema solo até 80 cm de profundidade (Tabela 35).

**Tabela 35**-Estoque de carbono em dois solos cultivados com cinco genótipos de capim elefante durante 21 meses em Seropédica-RJ (Profundidade 0-80 cm)

Genótipos	Argissolo			Planossolo		
	Balanço de C Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	C <sub>inicial</sub> Mg ha <sup>-1</sup>	C <sub>final</sub> Mg ha <sup>-1</sup>	Balanço de C Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	C <sub>inicial</sub> Mg ha <sup>-1</sup>	C <sub>final</sub> Mg ha <sup>-1</sup>
CNPGL F06-3	0,66 ab	85,05 a	86,20 a	0,82 a	52,29 a	53,73 a
Gramafante	0,75 a	74,92 b	76,22 b	0,78 a	45,08 a	46,45 a
Bag	0,81 a	77,03 ab	78,45 ab	0,81 a	44,10 a	45,52 a
Roxo	0,54 b	92,76 a	93,71 a	0,53 b	46,85 a	47,77 a
Cameroon	0,83 a	79,87 a	81,32 a	0,74 ab	45,54 a	46,84 a
Média	0,72	81,93	83,18	0,74	46,77	48,06
CV %	22,51	18,15	16,10	21,26	14,74	21,88

Valores seguidos por mesma letra, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

O carbono inicial do solo é resultante do seu conteúdo original e o carbono final do solo foi determinado em função do conteúdo de carbono encontrado no fim da terceira colheita em 2007. No momento da colheita da biomassa, foram retirados das parcelas quaisquer materiais restantes da biomassa que ficasse no local, como folhas verdes e palhas, desta forma o ganho de C no solo seria derivado principalmente do sistema radicular das plantas.

Para a quantificação dos estoques de C nos dois solos em estudo, utilizou-se os valores médios de densidades dos quatro blocos deste experimento e também se considerou que não houve interferência do cultivo de capim elefante na densidade do solo, principalmente pelo curto tempo de cultivo (2 Anos) e pela baixa movimentação de máquinas e animais nos locais de experimentação. Pela Tabela 35 é possível constatar que os balanços mais positivos nos dois tipos de solos foram obtidos com o cultivo dos genótipos CNPGL F 06-3 Cameroon, alcançando valores próximos de  $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de carbono fixado no solo. As profundidades 0-20 e 20-40 cm foram responsáveis em mais de 75 % deste benefício, o que já era esperado já que nestas camadas é onde encontramos os maiores ingressos de C. Como toda a biomassa foi retirada da parcela, podemos dizer que grande parte deste benefício, nos dois solos em estudo, é devido ao ingresso de C orgânico no sistema solo via sistema radicular das plantas de capim elefante, promovido pelo corte da parte aérea no momento da colheita.

Estes resultados corroboram com os obtidos por vários autores (Hansen et al., 1993, Buford et al., 1999 e Sanchez et al., 2007), os quais observaram, em três anos de cultivo, aumento no estoque de C no solo nas primeiras profundidades. Sanchez et al. (2007) também utilizaram valores de densidades dos solos coletados no final do experimento, pois assim como neste trabalho, não foi observada diferença nos valores desta variável. Eles ainda atribuíram a principal entrada de C no solo, neste espaço curto de tempo, à morte das raízes das espécies cultivadas.

Com os resultados da Tabela 35 observou-se que o balanço de carbono no solo foi positivo e representou um ingresso no Argissolo que variou de 0,54 a 0,83  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para os tratamentos Roxo e Cameroon, respectivamente, e no Planossolo variou de 0,525 a 0,823  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o tratamento Roxo e CNPGL F 06-3, respectivamente. Jantália et al. (2006) em estudos sobre a acumulação de carbono em pastagens de *Brachiária humidicola* observaram uma taxa média de acumulação quando em monocultura de 0,66  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e quando consorciada, este acúmulo foi de 1,17  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  representando quase o dobro de acúmulo de C da pastagem em monocultura. Corazza et al. (1999) estudou o estoque de C sob pastagem de *Brachiaria decumbens* e encontraram uma taxa de acúmulo de 0,92  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  durante 18 meses de cultivo, porém, segundo Jantália et al. (2006) esses valores podem estar superestimados uma vez que não foi feita a correção pela massa de solo contido no perfil. Os resultados apresentados nesta tabela corroboram com os obtidos por Jantalia et al. (2006) e nos indica o alto potencial de acúmulo de C no solo que esta espécie pode promover quando manejado adequadamente, e quando associado aos dados qualitativos e quantitativos de biomassa, viabiliza ainda mais o uso da biomassa desta espécie para uso energético.

#### **4.2.6 Relação C/N e relação talo-folha**

A Relação C:N da biomassa dos diferentes genótipos foi obtida dividindo-se o carbono acumulado na matéria seca (média de 45% da matéria seca), pelo nitrogênio acumulado na biomassa seca das plantas. Esse é um parâmetro que fornece um índice da qualidade que os genótipos teriam para serem utilizados como fonte de energia alternativa, porque quanto maior a Relação C:N, normalmente o material é mais fibroso e lignificado, ou seja apresenta melhores condições para seu uso como fonte energética, além de indicar maior capacidade produtiva com menos nitrogênio acumulado. Analisando separadamente os resultados obtidos, para os genótipos em estudo.

**Tabela 36.** Relação C:N e relação talo-folha da parte aérea de cinco genótipos de Capim elefante e das duas ordens de solos, no 1º e 2º ciclo de estudo em Seropédica-RJ.

Genótipo	C/N	T/F	C/N	T/F
	10/2005 a 05/2006		05/2006 a 01/2007	
CNPGL F06-3	108,75 b	2,50 ab	86,47 a	1,53 a
Gramafante	145,37 a	3,50 a	90,57 a	1,52 a
Bag	97,75 c	2,62 ab	81,83 a	1,27 a
Roxo	91,75 c	1,87 c	81,7 a	1,38 a
Cameroon	84,75 d	2,12 c	84,11 a	1,49 a
Média	105,67	2,52	84,936	1,438
Solo	C/N	T/F	C/N	T/F
Argissolo	113,45 a	3,05 a	83,38 a	1,19 a
Planossolo	97,90 b	2,10 b	86,5 a	1,68 b
Média	105,68	2,58	84,94	1,44

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Pode-se observar que o genótipo Gramafante se destacou dos demais nos dois parâmetros em estudo, com exceção da relação Talo/Folha no segundo ciclo de estudo. Este que além de possuir uma elevada produção de biomassa, obteve um menor teor de nitrogênio em seus tecidos, o que conferiu esta alta Relação C:N (145,37) observada. Isto se deve principalmente à elevada relação talo-folha do Gramafante (Quesada, 2001; 2005).

No segundo ciclo houve uma redução da relação C/N e relação T/F e este fato pode ser explicado pela maior % N nos tecidos das plantas de capim elefante e também pelo fato de que as plantas produziram mais folhas do que no 1º ciclo. Os resultados obtidos por Lemus et al. (2002), no que diz respeito a parte qualitativa dos genótipos de *Panicum virgatum*, evidenciaram uma relação C/N próximo de 95 e teores de FDA próximos de 45%. No entanto os resultados de rendimento de biomassa e de FBN na cultura de capim elefante, reforça a maior viabilidade do uso desta espécie como fonte energética.

Quando consideramos o fator ordem de solo, foi observada uma inversão nos valores quando passamos de um ciclo de estudo para outro. Estes valores são a média dos valores dos cinco genótipos pelas quatro repetições em estudo. Neste caso no segundo ciclo os valores mais altos dos parâmetros em questão foram observados no Planossolo. Nos dois ciclos de estudo na Tabela 36, em geral, todos os genótipos apresentaram valores de relação C:N, maior que 80, o qual é considerado alto, sendo este um parâmetro valioso na relação de genótipos promissores, além de apresentar também uma alta relação talo/folha, o que viabiliza ainda mais o uso da biomassa produzida por estes genótipos para produção de energia alternativa.

**Tabela 37.** Relação C:N e relação talo-folha da parte aérea de cinco genótipos de Capim elefante e das duas ordens de solos, no 3º ciclo de estudo em Seropédica-RJ.

Genótipo	C/N	T/F	C/N	T/F
	01/2007 a 08/2007		Média dos três ciclos de cultivo	
CNPGL F06-3	81,71 ab	1,69 a	92,31 ab	1,91 a
Gramafante	75,77 ab	1,86 a	103,90 a	2,29 a
Bag	71,56 ab	1,84 a	83,71 ab	1,91 a
Roxo	64,70 b	1,75 a	79,38 b	1,67 a
Cameroon	85,84 a	2,36 a	84,90 ab	1,99 a
Solo	C/N	T/F	63,54 1,32	
Argissolo	73,25 a	1,20 b	90,03 a	1,82 b
Planossolo	78,58 a	2,56 a	87,66 a	2,11 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Estes resultados corroboram com os obtidos por Quesada (2005) que encontrou valores para relação C/N em torno de 95 quando os genótipos foram cultivados num Planossolo na época das águas, e de 55 quando cultivados durante a estação seca.

#### 4.2.7 Teores de fibra (FDA), lignina, celulose e cinzas

Com relação aos resultados da interação significativa observada nos teores de fibra, celulose, lignina e cinzas para a primeira colheita do experimento, os resultados são apresentados na Tabela 38.

**Tabela 38.** Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita na biomassa da interação entre cinco genótipos de capim elefante, no 1º ciclo cultivados em dois tipos de solos, em Seropédica-RJ.

Genótipos	Tratamento	FDA		Celulose		Lignina		Cinzas	
Solo	Genótipo	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha
Argissolo	CNPGL F06-3	47,79 ab	39,47 a	32,19 ab	24,58 a	14,02 a	9,95 ab	1,57 a	2,59
	Gramafante	45,53 ab	39,99 a	29,99 ab	24,58 a	13,62 a	9,92 ab	1,92 a	2,85 a
	Bag	57,84 a	44,91 a	41,09 a	26,68 a	14,39 a	12,66 a	2,35 a	1,39 a
	Roxo	36,21 b	39,09 a	19,38 b	26,47 a	15,28 a	9,94 ab	1,55 a	2,75a
Planossolo	Cameroon	47,56 ab	38,03 a	34,16 a	23,28 a	11,68 a	7,67 b	1,71 a	3,32 a
	CNPGL F06-3	44,23 a	36,27 a	27,82 a	26,93 ab	13,09 a	11,99 a	3,32 a	2,05a
	Gramafante	46,07 a	37,77 a	28,72 a	27,22 ab	15,04 a	12,42 a	2,64 a	2,96 a
	Bag	46,05 a	36,01 a	28,33 a	30,86 a	14,13 a	10,98 a	3,58 a	2,53 a
Seropédica	Roxo	41,95 a	40,85 a	25,76 a	26,39 ab	13,94 a	11,27 a	2,25 a	3,03 a
	Cameroon	45,58 a	37,57 a	28,54 a	25,03 b	13,84 a	12,82 a	3,19 a	3,22 a
Média		45,48	39,00	29,73	25,17	13,91	10,97	2,41	2,87
CV%		29,25	36,45	41,21	29,29	32,32	35,68	41,25	39,85

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Em geral, os teores observados não foram influenciados pela diferença de fertilidade dos solos, com exceção do genótipo Roxo. Neste caso, sabe-se que pela origem a adaptabilidade a solos pobres que a espécie em estudo possui, provavelmente esta alcançou potencializar a taxa de crescimento e acúmulo de biomassa nos dois solos em estudo, mesmo em diferentes níveis de fertilidade. Para a produção de energia através da biomassa de capim elefante, o componente da planta de maior interesse é o colmo. Nesse compartimento, observou-se diferença significativa apenas quando os genótipos foram cultivados no Argissolo. Comparados com os resultados obtidos por Quesada et al. (2004), os teores de fibra são similares variando de 36 (Roxo) a 57% (BAG), sendo este fato esperado em função da idade fisiológica dos genótipos, que aumenta com a idade das plantas, as quais, neste ciclo, permaneceram no campo durante 8 meses. Para os teores de lignina, os mesmos variaram entre 7,67 á 12,82, sendo que o genótipo Cameroon diferenciou do genótipo BAG, apresentando os menores teores. Em relação aos teores de cinzas, os resultados foram bem promissores e ficaram dentro dos níveis normais das plantas, menor que 3,6%, chamando apenas a atenção para as folhas, cujos valores foram sensivelmente maiores.

Comparados com resultados de Quesada et al. (2004), os teores de fibra são similares variando de 36 (Roxo) a 57% (BAG), sendo este fato esperado em função da idade fisiológica dos genótipos, que aumenta com a idade das plantas, as quais, neste ciclo, permaneceram no campo durante 8 meses. Campos et al. (2002) encontraram valores percentuais de 41% para

FDA, aos 105 dias, e de 37% e 5%, respectivamente para celulose e lignina, corroborando com o obtido neste estudo. Incrementos nos teores de FDA foram discutidos também por Mistura (2001) e Lopes (2001), em plantas mais desenvolvidas de capim elefante, com fatores climáticos favoráveis em relação a este estudo. Valores semelhantes foram encontrados por Savioli et al (2000), que, comparando valores de FDA entre várias forrageiras, encontraram teores de 42% para o capim Napier, sendo esse valor maior que as demais forrageiras (Brizanta, Pangola, etc.), ficando abaixo apenas do Colonião, com 44% de FDA.

Para os teores de celulose, no compartimento Colmo no Argissolo, foi observada significância pelo teste de tukey, sendo observado uma variação entre os genótipos de 19,38% (Roxo) a 41,09% (BAG). No compartimento folha, só foi observado diferença entre os tratamentos quando cultivados no Planossolo. Neste parâmetro, o Cameroon apresentou os menores valores (25,03%), diferenciando do genótipo BAG. Nas cinzas, componente indesejável num processo de queima de material para a produção de energia (quanto menos cinza melhor), os valores não diferiram estatisticamente para colmos, variando entre 1,55% a 3,58% nos genótipos cultivados no Argissolo e 1,55 a 2,25 no Planossolo, valores esses baixos e satisfatórios para a queima. Para folhas, os valores de cinzas ficaram entre 1,39% (BAG) a 3,32% (Cameroon) quando cultivados no Argissolo e entre 2,05% (Incaper F06-3) a 3,22 (Cameroon) quando os genótipos foram cultivados no Planossolo.

Para os teores de fibra em detergente ácido (FDA) e seus componentes, para as médias dos genótipos os resultados são apresentados na Tabela 39, já que foi observada diferença significativa nas variáveis.

**Tabela 39.** Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita na biomassa de cinco genótipos de capim elefante, em Seropédica-RJ.

Genótipos	FDA		Celulose		lignina		cinzas	
	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha
CNPGL F06-3	46,01 a	37,87 a	30,01 a	24,58 a	13,55 a	10,97 a	2,45 a	2,32 a
Gramafante	47,05 a	38,88 a	30,60 a	24,80 a	14,33 a	11,17 a	2,27 a	2,90 a
Bag	49,94 a	40,46 a	32,21 a	26,86 a	14,26 a	11,82 a	2,96 a	1,95 a
Roxo	39,08 b	39,71 a	24,44 b	26,47 a	14,61 a	10,61 a	1,90 a	2,88 a
Cameroon	45,32 a	37,80 a	31,35 a	23,28 a	12,76 a	10,25 a	2,45 a	2,44 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

Os percentuais de FDA nos colmos variaram entre 39,09 e 49,94 % nos genótipos Roxo a Bag, respectivamente. Nas folhas a variação foi menos acentuada, sendo o menor valor observado para o genótipo Cameroon (37,80%). Em relação aos solos (Tabela 40), para colmos os valores variaram entre 44% e 46%, no Argissolo e Planossolo, respectivamente.

**Tabela 40.** Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita da biomassa de cinco genótipos de capim elefante, cultivados em dois tipos de solos em Seropédica-RJ.

Solo	FDA		Celulose		Lignina		Cinzas	
	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha
Argissolo	46,18 a	40,30 a	31,61 a	27,29 a	13,80 a	10,03 a	1,82 a	2,75 a
Planossolo	44,78 a	37,69 b	27,83 b	23,03 b	14,01 a	11,90 a	2,99 a	2,67 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

Nas folhas foi observada diferença significativa e os menores valores nas médias foram encontrados para o Planossolo. Os valores de FDA de colmo sempre maiores que os de folha, estão em conformidade com a literatura (Quesada et al., 2004), e os teores próximos de 52% indicam a boa qualidade desses materiais para serem utilizados como fonte de energia alternativa. A presente colheita foi feita com 8 meses e é sabido que quanto mais longo o intervalo entre cortes maiores os teores de FDA nas folhas e nos colmos, por isso os valores de FDA nas colheitas desse experimento, através do manejo dado, provavelmente serão sempre elevados. Esse manejo é recomendado, quando se quer produzir capim elefante com fins energéticos, e não para a alimentação animal, que deve ser rico em proteína, e portanto deve ser um capim jovem. Em relação a celulose, o componente de maior valor dentro da FDA, nos colmos foi observada diferença significativa, com valores variando entre 24,44% (Roxo) e 32% (BAG). Para folhas, o genótipo Roxo apresentou o segundo maior valor em percentual, da ordem de 26,47%, não diferindo estatisticamente dos outros genótipos.

Os valores de lignina acima de 10% são um bom indício da qualidade desses materiais para produção de energia. Esses percentuais são inferiores aos de outras plantas usadas para o mesmo fim, como o eucalipto, mas quando considerada a produtividade e o número de cortes por ano, o capim elefante é vantajoso. O eucalipto leva sete anos para ser cortado e o capim elefante, nesse manejo, pode ser cortado até 14 vezes (2 cortes/ano), superando substancialmente a produtividade do eucalipto, compensando um menor percentual de lignina.

Nas cinzas, componente indesejável num processo de queima de material para a produção de energia (quanto menos cinza melhor), os valores não diferiram estatisticamente para colmos, variando entre 1,9% a 2,45%, valores esses baixos e satisfatórios para a queima. Quando consideramos as médias dos solos em estudo, vale destacar que foi observada diferença nos colmos e nas folhas para Celulose, e para FDA apenas teve diferença estatística significativa nas folhas, o Argissolo com os maiores valores.

Com relação aos teores de fibra, celulose, lignina e cinzas no segundo ciclo em estudo, os resultados são apresentados na Tabela 41.

**Tabela 41.** Teores de fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e cinzas, na primeira colheita na biomassa da interação entre cinco genótipos de capim elefante, no 2º ciclo cultivados em dois tipos de solos, em Seropédica-RJ.

Genótipos	Tratamento	FDA		Celulose		Lignina		Cinzas	
		Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha
Argissolo Itaguaí	CNPGL F06-3	48,55 ab	41,11 a	29,25 ab	22,56 a	15,02 a	10,01 a	2,01 a	1,89 a
	Gramafante	42,21 ab	40,26 a	27,56 ab	24,15 a	13,01 a	11,25 a	2,12 a	2,45 a
	Bag	48,25 a	47,25 a	38,25 a	25,32 a	14,59 a	9,89 a	1,85 a	1,56 a
	Roxo	36,78 b	40,23 a	26,25 b	25,36 a	15,01 a	9,14 a	2,55 a	2,45 a
	Cameroon	44,56 ab	39,56 a	37,58 a	22,31 a	12,25 a	8,52 a	2,31 a	3,01 a
Planossolo Seropédica	CNPGL F06-3	40,21 a	36,12 a	26,26 a	25,58 ab	14,01 a	12,05 a	3,01a	2,44 a
	Gramafante	49,25 a	37,58 a	24,54 a	26,25 ab	14,57 a	12,35 a	2,94 a	1,98 a
	Bag	48,12 a	38,55 a	26,33 a	30,25 a	15,24 a	11,04 a	3,56 a	1,48 a
	Roxo	40,35 a	43,25 a	25,13 a	25,36 ab	14,09 a	12,56 a	2,45 a	2,25 a
	Cameroon	44,58 a	39,56 a	23,24 a	24,22 b	15,24 a	12,41 a	3,58 a	2,35 a
Média		44,29	40,35	28,44	25,14	14,30	10,92	2,64	2,19
CV%		22,5	21,1	16,8	17,9	20,25	24,25	26,78	31,33

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

No compartimento colmo, observou-se diferença significativa apenas quando se consideram os teores de FDA e celulose. Comparados com os resultados de Quesada et al. (2004), os teores de fibra são similares variando de 36,7 a 49,25 pontos percentuais, sendo este fato esperado em função da idade fisiológica dos genótipos, que aumenta com a idade das plantas. Para lignina, os teores ficaram acima de 10 %, não sendo observado diferenças estatísticas para esta variável. Em relação a cinzas, os teores ficaram dentro dos níveis normais das plantas, ao redor de 5%, chamando apenas a atenção para as folhas, cujos valores foram sensivelmente menores. Vale destacar que este experimento seguiu a mesma tendência apresentada no experimento I, no que diz respeito aos teores de FDA, lignina, celulose e cinzas. Neste caso, não houve variação da qualidade desta biomassa ao longo dos cultivos.

Nas folhas, a variação dos teores de FDA foi menos acentuada, com o menor valor para o genótipo CNPGL F 06-3 (36,12%). Os teores de FDA próximos de 50% indicam a boa qualidade desses materiais para fonte energética. A presente colheita foi realizada com 7 meses e é sabido que, quanto mais longo o intervalo entre cortes maiores são os teores de FDA nas folhas e nos colmos, por isso os valores de FDA nas colheitas desse experimento, através do manejo dado ao mesmo, provavelmente serão sempre elevados. Esse manejo seria o ideal a ser feito, quando se quer produzir capim elefante com fins energéticos, e não para a alimentação animal, que deve ser rico em proteína, e portanto deve ser um capim jovem. Em relação a celulose, o componente de maior valor dentro da FDA, nos colmos foi observada diferença significativa e os valores variaram entre 26,25% (Roxo) e 38,25% (BAG).

#### 4.2.8 Redução do conteúdo de metais por lavado da biomassa

Em relação aos resultados do conteúdo de nutrientes na biomassa de capim elefante obtidos após o lavado da biomassa, estes são apresentados na Tabela 42.

**Tabela 42.** Teores de nutrientes em colmos de capim elefante após a aplicação dos diferentes tratamentos.

Tratamento*	Teor de nutrientes %			
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>
1	0,128 a	0,163 a	0,092 a	2,204 a
2	0,046 ab	0,052 ab	0,040 b	0,961 b
3	0,035 b	0,058 ab	0,040 b	0,754 b
4	0,056 ab	0,072 ab	0,021 b	0,277 b
5	0,053 ab	0,054 ab	0,02 b	0,262 b
6	0,04 ab	0,110 ab	0,078 ab	2,122 a
7	0,027 b	0,047 ab	0,021 b	0,671 b
8	0,025 b	0,023b	0,012 b	0,181 b
Média	0,051	0,072	0,052	0,929
CV	43,51	46,43	44,20	45,51

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05).

\* Tratamentos- T 1: Material moído.(Controle), T2:Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água, T3: Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água, com concentração de álcool a 2%, T4: Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água, com concentração de álcool a 5%, T5: Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água a 100°C, T6: Material passado na garapeira manual e posteriormente moído, T7: Material passado na garapeira manual com posterior aplicação do tratamento 2; T8: Material passado na garapeira manual com posterior aplicação do tratamento 5.

Em geral, os tratamentos de lavado foram bem eficazes, reduzindo os teores de todos os nutrientes em mais de 60 %. Comparando os tratamentos mais eficazes, pode-se dizer que quando foi associado o uso da garapeira (prensa), que promove um primeiro dano físico, com a utilização posteriormente do tratamento 3 (material deixado em repouso por 24h em solução 2 % de álcool) e/ou tratamento 8 (material deixado em repouso por 24h em água quente), as diminuições dos teores dos nutrientes em estudo foram as mais significativas, especialmente

para o potássio. Para este elemento, o valor passou de 2,204% para 0,181%, ou seja a redução foi de cerca de 92% (Tabela 37).

A exceção dos tratamentos sem trituração com garapeira, vale destacar a importância da utilização do tratamento 5 (Material moído e deixado em repouso por 24 horas em água a 100°C, 100g material fresco/1litro). Este proporcionou, de maneira significativa, a redução dos teores dos nutrientes em estudo, explicada principalmente pela desestruturação total da membrana plasmática e, posteriormente, desativação da atividade das proteínas de membrana que controlam o fluxo e o equilíbrio osmótico dentro da célula. Ainda, de acordo com os resultados dos tratamentos 6-8, onde os colmos de capim elefante foram triturados pelo uso de garapeira manual, é possível aperfeiçoar o mecanismo de reduzir significativamente os teores de potássio da biomassa de capim elefante visando à melhoria da qualidade da biomassa.

Quanto aos teores de cálcio, em geral, acompanharam os resultados para potássio, sendo que para este elemento o tratamento 1 diferiu significativamente apenas dos tratamentos 3, 7 e 8. Vale salientar que o cálcio faz parte da constituição das membranas celulares e da lamina media da parede celular, sendo que por um lado exerce forte papel na fluidez, e posteriormente na seletividade da mesma, o que dificulta a sua extração pelos tratamentos aplicados, e também estando fixo na parede celular sua solubilidade é menor. Com relação aos teores de magnésio só foi observada diferença entre os tratamentos 1 e 8. Quanto aos teores de fósforo foram também observados decréscimos significativos.

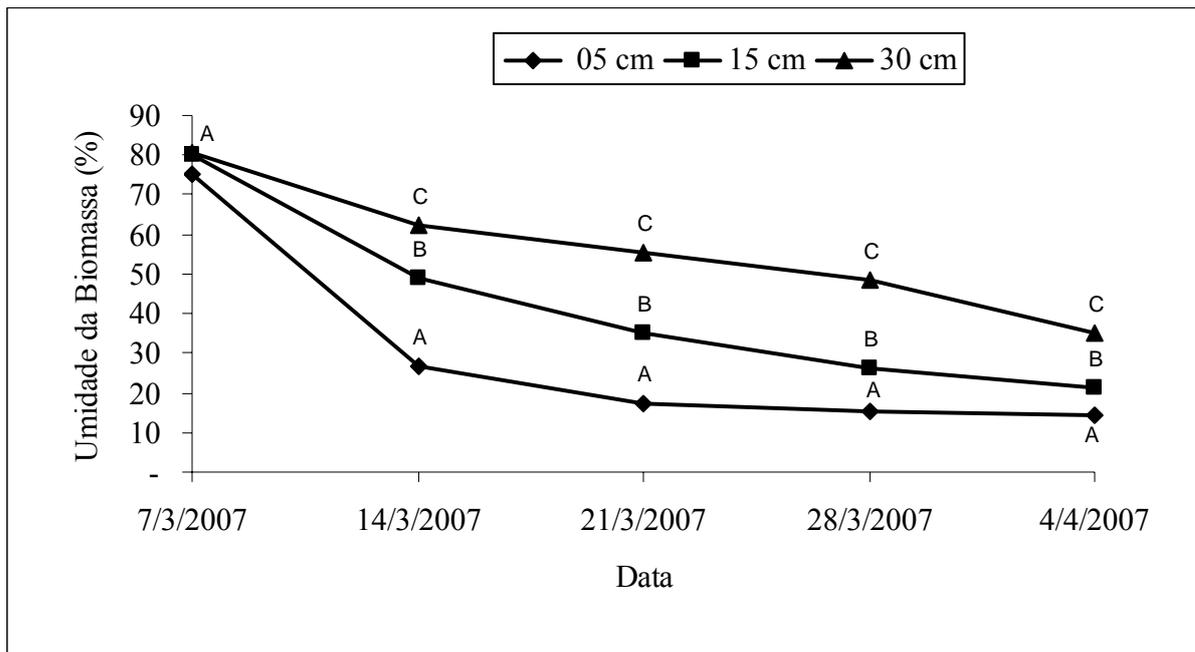
Os resultados deste estudo indicam que é possível diminuir os teores de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , P e  $K^{+}$  da biomassa vegetal dos colmos de capim elefante, ficando ainda um tema a explorar em pesquisas com a trituração da biomassa fresca seguida por tratamentos de lavado do material.

#### **4.2.9 Secagem de biomassa de capim elefante para fins energéticos**

Os resultados relativos à interação genótipo e tamanho do colmo para secagem são apresentados na Figura 1.

Foi observada interação significativa entre os tratamentos e a Figura 1 representa a média de três genótipos, já que os mesmos obtiveram comportamento similar quanto a este parâmetro e não diferiram estatisticamente. Independente do genótipo, o tamanho do material teve grande influência na perda de umidade da biomassa. A perda de umidade foi maior e inversamente proporcional ao tamanho do tolete, ou seja, quanto maior o tolete, maior o tempo necessário para reduzir a umidade.

Em números absolutos, a umidade inicial foi relativamente alta, variando de 80 a 85, valores que são considerados normais para a biomassa desta cultura, que poderiam ser até maiores em plantas mais jovens, como as usadas na alimentação animal. Observou-se a perda de umidade dos toletes no genótipo Gramafante, além de uma tendência de perda de umidade mais rápida nos toletes de 5 cm. Nas quatro semanas de avaliação, esta tendência indica que os colmos devem ser cortados nos menores tamanhos (5 cm), para que a perda de umidade da biomassa ocorra o mais rápida possível.



**Figura 1**-Curva de perda de umidade da biomassa de capim elefante cortado em três tamanhos de material, durante 27 dias de secagem (Média de três genótipos). Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p=0,05$ ).

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais do estudo pode-se afirmar que:

Os genótipos CNPGL F79-2, Cameroon, CNPGL F06-3 e BAG obtiveram os maiores rendimentos tanto em Anchieta (ES) como em Seropédica (RJ), podendo ser indicados para produção em escala comercial, para a produção de biomassa com fins energéticos.

Os genótipos não apresentaram resposta significativa à adubação nitrogenada na maioria das variáveis avaliadas.

Todos os genótipos nas condições de Anchieta-ES e Seropédica-RJ obtiveram elevadas contribuições da FBN, variando ao redor de 45%.

O balanço de C do solo foi positivo e representou um ingresso no Argissolo que variou de 0,541 a 0,830 Mg.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, e no Planossolo variou de 0,525 a 0,823 Mg.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

O balanço de nitrogênio do solo foi positivo para todos os tratamentos nos dois solos em estudo e em equivalência variaram entre 39,23 a 104,57 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 52,57 a 109,71 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no Argissolo e no Planossolo.

Os teores de fibras, lignina e celulose foram elevados e semelhantes para todos os genótipos, nos três ciclos em estudo. Os teores de cinzas permaneceram abaixo dos níveis críticos aceitáveis, em todos os genótipos.

Os genótipos apresentam semelhança em quase todas as características de qualidade da biomassa, sendo então a produtividade e a FBN as variáveis indicadoras para escolha dos genótipos para serem recomendados para produção de energia alternativa no campo.

O lavado da biomassa diminuiu em até 92 % o teor de nutrientes, especialmente potássio.

A velocidade de secagem da biomassa é inversamente proporcional ao tamanho em que a biomassa é picada.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de material energético alternativo através de biomassa vegetal representa hoje um dos grandes desafios para a pesquisa, já que a continuação da queima desenfreada de petróleo, que além de ser finita contribui para o efeito estufa que ameaça o equilíbrio do clima da terra. Como a queima de biomassa somente recicla CO<sub>2</sub> que foi retirado da atmosfera pela fotossíntese, tudo indica que a longo prazo esta será a alternativa energética mais segura.

Qualquer bio-combustível para ter a sua produção viável, não somente precisa ser economicamente compatível mas necessita principalmente de tecnologias que garantam a sua produção com balanços energéticos altamente positivos, isto é, produzir pelo menos três vezes mais energia que a gasta para a produção e processamento dos materiais vegetais a serem utilizados. Deste modo o capim elefante se apresenta como uma alternativa altamente promissora. Os resultados obtidos até o momento, associados aos trabalhos de Quesada (2001 e 2005) nos indicam que esta espécie possui alta adaptabilidade a distintas condições edafoclimáticas, mantendo o nível de rendimento de biomassa alto. Outro fator importante a ser considerado é o potencial desta espécie em obter significativas contribuições via fixação biológica de nitrogênio, o que viabiliza ainda mais o cultivo da mesma, tornando o seu balanço energético ainda mais positivo. Associado a estes fatores ressalta-se a alta aplicabilidade da biomassa produzida por esta espécie.

No caso do carvão da biomassa de capim elefante substituir, por exemplo, 200.000 toneladas por ano de carvão mineral, quantidade média usada na indústria siderúrgica de médio porte, pode-se deduzir que o potencial de substituição de C derivado do capim elefante seria de 105.000 toneladas de C em 15 meses, o equivalente a 385.000 toneladas de CO<sub>2</sub>. Considerando que toda a biomassa é utilizada na produção de energia, e que no processo de carvoejamento apenas 30% da biomassa se transforma em carvão, deduz-se que em média 6,36 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> derivado do capim elefante tem potencial de contribuir na substituição do carbono mineral usado na produção de ferro gusa (Tabela 43). Deve-se destacar que o carvão derivado da biomassa do capim elefante serve tanto como fonte de energia direta como na própria constituição do ferro gusa já que possui características qualitativas desejáveis para uso energético.

A partir dos pressupostos salientados anteriormente, pode-se calcular o número de hectares que uma usina siderúrgica teria que plantar para substituir o carvão de origem não renovável, por carvão oriundo da biomassa de capim elefante, salientando uma média que ficou em torno de 16000 ha. Ainda existe a possibilidade associada ao mercado de “comodities” de C vinculada às regras do protocolo de Quioto para empresas européias, que consideram um preço de US\$ 10.00 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> seqüestrado ou pela redução na emissão. Baseado nos dados de rendimento de biomassa (Tabela 23), pode-se estimar que uma empresa de mineração seqüestrando ou deixando de emitir o equivalente a 385.000 toneladas de CO<sub>2</sub> em 15 meses, poderia captar cerca de US\$ 3,850,000.00 a cada ano somente por este mecanismo.

**Tabela 43.** Resultados globais do número de hectares necessários na substituição do carvão mineral total utilizado numa indústria siderúrgica pela biomassa de cinco genótipos de capim elefante crescidos em dois tipos de solos.

15 Meses de Cultivo						
Solo	Genótipo	Mg de C por hectare			C Substituível	Nº hectares
		Colmo	Folha	Total	Mg C ha <sup>-1</sup>	
Argissolo	CNPGL F06-3	13,01 a	8,86 a	21,87 a	6,56 a	16003 a
	Gramafante	13,08 a	5,68 a	18,76 a	5,63 a	18660 a
	Bag	14,84 a	8,64 a	23,48 a	7,04 a	14908 a
	Roxo	13,45 a	7,38 a	20,84 a	6,25 a	16798 a
	Cameroon	14,16 a	8,18 a	22,34 a	6,70 a	15665 a
Planossolo	CNPGL F06-3	13,80 a	9,25 a	23,04 a	6,91 a	15188 a
	Gramafante	13,55 a	6,17 a	19,72 a	5,92 a	17745 a
	Bag	12,76 a	7,89 a	20,65 a	6,20 a	16948 a
	Roxo	11,21 a	6,76 a	17,97 a	5,39 a	19473 a
	Cameroon	12,64 a	10,82 a	23,46 a	7,04 a	14919 a
Média		13,25	7,96	21,21	6,36	16499 a
CV %		25,62	23,14	22,22	26,54	31,25

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

O desafio nos dias atuais é ampliar os estudos de base com a cultura de capim elefante para que posteriormente se possa aplicar a biomassa produzida por esta espécie, seja na forma de queima direta ou na produção de ferro gusa, ou mesmo como gaseificação da biomassa no âmbito da geração de energia elétrica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, (Embrapa-CNPAC. Documentos, 46) 1994.p. 409-449.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA D.M.; LOPES, R.S.; JÚNIOR, D.N.; CECON, P.R.; QUEIROZ, D.S.; PEREIRA,D.H.; REIS, S.T. Análise de crescimento do capim elefante 'napier' adubado e irrigado. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.29, n.2, p.415-423, 2005.
- BALDANI, J.I.; KRIEG, N.R.; BALDANI, V.L.D. & DOBEREINER, J. The genus *Azospirillum*. In: Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Volume 2, 2<sup>nd</sup> Edition (submitted), 1998.
- BALDANI, J.I.; CARUSO, L.; BALDANI, V.L.D.; GOI, S.R. & DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.29, p. 911-922, 1997.
- BALDANI, J.I.; OLIVARES, F.L.; HEMERLY, A. S.; REIS JR., F.B.; OLIVEIRA, A. L.M.; BALDANI, V.L.D., GOI, S.R. REIS, V.M.& DOBEREINER, J. Nitrogen-fixing endophytes: Recent advances in the association with graminaceous plants grown in the tropics. In: ELMERICH et al. (eds.), **Biological nitrogen fixation for the 21st century**. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1998b. P. 203-206.
- BALDANI, V.L.D., BALDANI, J.I. & DOBEREINER, J. Inoculation of field-grown wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum* spp. in Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, 4: 37-40, 1987.
- BALDANI, V.L.D. **Efeito da inoculação de *Herbaspirillum* spp. no processo de colonização e infecção de plantas de arroz e, ocorrência e caracterização parcial de uma nova bactéria diazotrófica**.1996. 234f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1996.
- BARRETO, G.B.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.; DUBEUX, J.C.; Produção de matéria seca e taxa de sobrevivência de clones de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e um híbrido interespecífico com o milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) submetidos a estresse hídrico, **Pasturas Tropicales**, Cali, v.37, n.1, p.156-168, 2007.
- BODDEY R.M. Biological nitrogen fixation in sugar cane: A key to energetically viable biofuel production. **Critical Reviews in Plant Science**, v.14, n. 3, p. 263-279, 1995.
- BODDEY R.M. Methods for quantification of nitrogen fixation associated with gramineae. CRC Crit. Rev. **Plant Science**. n. 6, p. 209-266, 1987.
- BODDEY, R. M. & DOBEREINER, J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: recent results and perspectives for future research. **Plant and Soil**, Dordrecht, 108: 53-65, 1988.
- BODDEY, R.M. & VICTORIA, R.L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using <sup>15</sup>N-labelled organic matter and fertilizer. **Plant and Soil**, Dordrecht, n. 90: p.265-292. 1986.

- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. & URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo <sup>15</sup>N. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, (Embrapa-CNPAC. Documentos, 46) 1994. p. 471-494.
- BODDEY R M, POLIDORO J C, RESENDE A S, ALVES B J R AND URQUIAGA S. Use of the <sup>15</sup>N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N<sub>2</sub> fixation to grasses and cereals. **Aust. J. Plant Physiol.** 28, 889–895. 2001
- BOTREL, M.A.; PEREIRA, A.V.; FREITAS V.P.; XAVIER, D.P. Potencial forrageiro de novos clones de Capim- Elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 334-340, 2000.
- BUFORD MA, STOKES BJ, SANCHEZ FG, CARTER EA. Using biomass to improve site quality and carbon sequestration. In: LOWE A.T., SMITH C.T., editors. Developing systems for integrating bioenergy into environmentally sustainable forestry, **Biomass and Bioenergy** v. 18, n 1, p. 97–103. 1999.
- CAMPOS, F.B.; LANNA, D.P.D.; BOSE, M.L.V.; BOIN, C.; SARMENTO, P. Degradabilidade do capim elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método *in vitro*/gás, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.217-225, 2002.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.D.; RESCK, D.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.425-432, 1999.
- COWIE, A.L.; GARDNER, D.W.; Competition for the biomass resource: Greenhouse impacts and implications for renewable energy incentive schemes. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31, n. 1, p. 601-607, 2007.
- CRUZ, J.C., MONTEIRO J.A ; SANTANA D.P.; GARCIA J.C.; BAHIA F.G.F.T.C.; SANS L.M.A.; PEREIRA I.A. Manejo da fertilidade do solo. In: CRUZ J.C.; MONTEIRO J.A.; SANTANA D.P.; GARCIA J.C.; BAHIA F.G.F.T.C.; SANS L.M.A.; PEREIRA I.A. ed. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília, Embrapa SPI, 1993. p.45-83,
- CUNHA, M.V.; SANTOS, M.V.; LIRA, M.A.; MELLO, A.C.; FERREIRA, R.L.; FREITAS, E.V.; NUNES, J.C.; Características estruturais e morfológicas de genótipos de *Pennisetum* sp. sob pastejo no período de seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.3, p.540-549, 2007.
- DANALATOS, N.G; ARCHONTOULIS F.G; MITSIOS, I. Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v.31, p. 145-152. 2007
- DE – POLLI, H.; FRANCO, A.A.; ALMEIDA, D.L. Consorciação do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com cinco leguminosas forrageiras tropicais. **Boletim Técnico nº 104**, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul. p174-182. 1973.
- DÖBEREINER, J.; BALDANI, J.I. Bases científicas para uma agricultura biológica. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.34, n.7, p.869-881, 1982.
- DÖBEREINER J. History and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. *Symbiosis*, Rehovot, v. 13, p. 1-13, 1992.
- DÖBEREINER, J. & DAY, J.M. Associative symbioses in tropical grasses: Characterization of microorganisms and nitrogen-fixing sites. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION. Pullman. Washington State University, **Anais....**Washington, p 518-538. 1975.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SNLCS. 114p. 1v. 1979

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C.; SALGADO, L.T.; QUEIROZ, D.S.; MORAIS, R.V.; VITOR, C.M.T.; MOREIRA, L.M. Adubação nitrogenada e potássica em capim elefante cv. Napier sob pastejo rotativo. **B. Industr.anim.**, N. Odessa, v.64, n.2, p.149-158, 2007.

FAO . "Yearbook of forest products : 1978 - 1993". Food and Agriculture Organization, Rome. 1993. <<http://www.fao.org>>. Acesso em 06 de janeiro de 2006.

[www.fao.org](http://www.fao.org)

FARIA, V.P; MATTOS, W.R.S; SILVEIRA FILHO, S.; SILVEIRA, A.C. Observações preliminares sobre três variedades africanas de capim-elefante In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, ed.7., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 1970. p. 28-29.

FARONI, C.E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004.68f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FIKE, J.H; PARRISH, D.J; WOLF, D.D; BALASKO, J.A; GREEN, J.T. Long-term yield potential of switchgrass-for-biofuel systems. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v.30 p. 198-206, 2006.

FILHO, J.L. de Q.; SILVA, D.S.; NASCIMENTO, I.S. Produção de matéria seca e qualidade do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) cultivar Roxo em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, n.1, p.69-74, 2000.

FILHO, J.L.Q.; SILVA, D.S.; NASCIMENTO, I.S.; SANTOS, E.A.; FILHO, J.J.O. Produção de matéria seca e qualidade de cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.27, n.2, p.262-266, 1998.

FRANÇA, G. E.; BAHIA, F. A.C.; VASCONCELOS, C. A.; SANTOS, H. L. Adubação nitrogenada no Estado de Minas Gerais. In: Simpósio sobre adubação nitrogenada no Brasil, 1985, Ilhéus, **Anais CEPLAC**, 1986. p. 107-124.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, C.; FURLANI, P.R.; FURLANI, M.C.; MATTOS, H.B. de; SARTINI, H.J.; FONSECA, M.P. Composição química inorgânica de forrageiras do estado de São Paulo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.31, p. 115-137, 1974.

GOLDEMBERG, J.; MONACO, L.C.; MACEDO, I.C. The Brazilian Fuel-Alcohol Program in Renewable Energy-Sources for Fuels and Electricity, eds Johansson, T.B.; Kelly, H.; Reddy, A.K.N.; Williams, R.H., Island Press, Washington. p. 256-267. 1993.

GONÇALEZ, D.A. Efeito da maturidade e da rebrotação sobre a produção, composição e valor nutritivo de quatro cultivares de *Pennisetum purpureum*. 1980. 183p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 1980.

HANSEN EA. Soil carbon sequestration beneath hybrid poplar plantations in the north central United States. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 5, p. 431–436. 1993

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II, chapter 19, 3rd. Session, Montreal, 16-20 de Outubro, WMO, UNEP, Draft. 1995. (<<http://www.ipcc.ch>>). Acesso em 12 de fevereiro de 2006.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Análise da Pré-viabilidade econômica de aproveitamento de gramíneas forrageiras para carvoejamento e extração de proteínas. Instituto de Pesquisas tecnológicas. (<<http://www.ipt.br>>). Acesso em 15 de setembro de 2007.

JANTALIA, C.P.; TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.O.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Acumulação de carbono em pastagens de *Brachiaria*. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O. Manejo de sistemas agrícolas: **Impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Ed. Porto Alegre: Gênese, 2006; cap. 7, p. 157-170.

JENKINSON & LADD, D.S. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. **Soil Biochemistry**, New York, v.5, p. 415–471, 1981.

JOHANSSON, T.B.; KELLY, H.; REDDY, A.K.N.; WILLIAMS, R.H. Eds. Renewable Energy- **Sources for Fuels and Electricity**, Island Press, Washington DC. v.28, p.1-12. 1993.

JUNK G.; SVEC H.J. The absolute abundance of the nitrogen isotopes in the atmosphere and compressed gas from various sources. **Geochim. Cosmochim. Acta**. v.14, p. 234-243, 1958.

KAUTER, D., LEWANDOWSKI, I., CLAUPEINA, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use. A review of the physiological basis and management influences. **Biomass and Bioenergy**, v.24 (6), 411–427. 2006

KIRCHHOF, G.; ECKERT, B.; STOFFELS, M.; BALDANI, J.I.; REIS, V.M.; HARTMANN, A. *Herbaspirillum frisingense* sp. nov., a new nitrogen-fixing bacterial species that occurs in C4- fiber plants. **Intern. J. of System. and Evolution**. v. 51, p. 157-168, 2001.

KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBERSTEINER, M. Negative emissions from BioEnergy use, carbon capture and sequestration (BECS)—the case of biomass production by sustainable forest management from semi-natural temperate forests. **Biomass & Bioenergy**, Rotterdam, v.30, p. 198-206, 2003

LAL R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 353-362, 2002.

LEDGARD, S.F.; FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R. Variations in natural enrichment of <sup>15</sup>N in the profiles of some Australian Pasture Soils. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v.22, p.155-64, 1984.

LEITE, J.M.; MORAIS, R.F.; SOUZA, B.J.; ALVES, B.J.R.; BODDEY R.M.; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.S.; Rendimento de biomassa e contribuição da FBN em cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* schum), In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, 2007. **Anais...Gramado.2007**. CD-ROM

LEMUS, R.; BRUMMER, E. C.; MOORE, K.J.; MOLSTAD. N.E.; BURRAS, C.L.; BARKER, M.F.; Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA: **Biomass & Bioenergy**, v.23, p.433-442, 2002.

LOBATO, E.; CORNELIUS E.; SANZO NOWICZ, C. Adubação fosfatada em pastagens. In: MATTOS, B. B.; WERNER J. C.; YAMADA T.; MALAVOLTA, E. ed. **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.145-174.

LONGO R.M. & ESPÍNDOLA C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp) em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p.723-729, 2000

- MACEDO I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in Bio-Ethanol roduction and utilization in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 14, n1, p 77-81, 1998.
- MAGALHÃES, J.A.; LOPES, E.A.; RODRIGUES, B.N.R.; COSTA, N.L.; BARROS, N.N.; MATTEI, D.A. Influência da adubação nitrogenada e da idade de corte sobre o rendimento forrageiro do Capim Elefante: **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n.1, p.91-96, 2006.
- MALAVOLTA, E.; LIEM T. H.; PRIMAVESI A. C. P. A. Exigências nutricionais das plantas forrageiras. In: MATTOS, B. B.; WERNER J. C.; YAMADA T.; MALAVOLTA, E. ed. Calagem e adubação de pastagens. **Potafos**, Piracicaba, p.31-76. 1986.
- MARCHIORI JUNIOR M. & MELO W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.
- MAZZARELLA, V. Capim Elefante: Capim elefante produz energia. **Instituto de pesquisas tecnológicas**, <<http://www.ipt.br>>. Acesso em 15 de outubro/novembro de 2007.
- MIRANDA, C.H.B.; BODDEY, R.M. Estimation of biological nitrogen fixation associated with 11 ecotypes of *Panicum maximum* grown in nitrogen 15 labeled soil. **Agronomy Journal** 79(3):558-563.1987.
- MISTURA, C.; FAGUNDES, J.L.; FONSECA, L.M.; MOREIRA, C.L.M.; JÚNIOR, D.M.; JÚNIOR, J.R. Disponibilidade e qualidade do capim elefante com e sem irrigação adubado com nitrogênio e potássio na estação seca: **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n.2, p.372-379, 2006.
- MONTEIRO, F.A. Adubação para estabelecimento e manutenção de capim elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; CARVALHO, L. de A., ed. **Capim Elefante, produção e utilização**, Coronel Pacheco, Embrapa CNPGL, 1994, p.49-79.
- MONTI, A.; FAZIO, S.; LYCHNARASB, P.; SOLDATOS, P.; VENTURIA, G. A full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by BEE model. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31, p.177-185. 2007.
- MORAIS, R.F.; XAVIER, R.P.; ALVES, B.J.R.; BODDEY R.M.; URQUIAGA, S.S; Uso da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ) no perfil do solo como suporte para a estimativa da FBN, In: FERTBIO, 2006, Bonito, **Anais...** Bonito, CD-ROM.
- MOZZER, O. L. Comparação entre cultivares de capim- elefante nas fazendas da Zona da Mata de Minas Gerais. **Relatório técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite 1981-1985**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1986. p. 88.
- MOREIRA, L.M., FONSECA, D.M., MARTUSCELLO, J.A., NÓBREGA, E.B. Absorção e níveis críticos de fósforo na parte aérea para manutenção da produtividade de capim elefante (*Pennisetum purpureum* CV. NAPIER. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.30, p. 1170-1176, 2006.
- MUSTAFA., A, AKSOY, A.S. The cultivation and energy balance of *Miscanthus giganteus* production in Turkey. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 29, p.42-48. 2007
- NAKICENOVIC, N. Long-term strategies for mitigating global warming. **Energy** v. 18, n. 5, p. 401-609. 1993.
- OBEID, J.A.; GOMIDE, J.A.; COMASTRI FILHO, J.A. Efeito da adubação sobre a produtividade e o valor nutritivo do capim elefante “Mineiro” cultivado em solo sob

vegetação de cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.13, n. 4, p.488-500, 1984.

OKON, Y.; ITZIGSOHN, R.; BURDMAN, S. & HARPEL, M. **Advances in Agronomy and ecology of the Azospirillum/plant association**. In: TIKHONOVICH et al., eds. Nitrogen Fixation: Fundamentals and Applications. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 635-640, 1995.

OLIVARES, F.L. **Taxonomia, ecologia e mecanismos envolvidos na infecção e colonização de plantas de cana-de-açúcar (Saccharum sp. Híbrido) por bactérias endofíticas do gênero *Herbaspirillum***. 1997. 328f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1997.

PEOPLES M.B., FAIZAH A.W., RERKASEM B. & HERRIDGE D.F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. ACIAR, Monograph No. 11, Canberra, 1989. 76p.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A. 15N natural abundance in forest and pasture soil of the Brazilian Amazon basin. **Plant and Soil**, n.182, p. 249-258, 1996.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica : EDUR, 1998. 159p.

PRIMAVESI A. **O manejo ecológico do solo**. 2ed. São Paulo, Nobel. 1987. 541p.

QUESADA D.M., RESENDE A.S., XAVIER R.P., COELHO C.H.M., REIS V.M., BODDEY R.M., ALVES B.J.R. & URQUIAGA S. Efeito da adubação verde e N-Fertilizante no acúmulo de biomassa e fixação biológica de nitrogênio em genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista Agronomia**, Seropédica, v.37, n.2, p. 53-58, 2003.

QUEIROZ FILHO, J.L., SILVA, D.S., NASCIMENTO, I.S. Produção de matéria seca de cultivares e qualidade de cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). **R. Bras. Zootec.**, 27(2):262-66. 1998

QUESADA D.M., FRADE C., RESENDE A.S., POLIDORO J.C., REIS V.M., BODDEY R.M., ALVES B.J.R., XAVIER D., URQUIAGA S. A fixação biológica de nitrogênio como suporte para a produção de energia renovável. In: AGRENER. 2000, Campinas. **Anais...** CD Rom.

QUESADA D.M., GAGO J., BODDEY R.M., ALVES B.J.R., URQUIAGA S., REIS V.M. Relação C:N e análise de fibras em genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para produção de energia renovável. In. FERTBIO, 2004, Lajes, **Anais....** CD Rom.

QUESADA D.M., **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com potencial para uso energético, na forma de carvão vegetal**. 2005. 65f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2005.

QUESADA D.M., **Seleção de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para a alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN)**. 2001. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2001.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIN, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

- RAISON, R.J. Opportunities and impediments to the expansion of forest bioenergy in Australia. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v.30 p. 1021-1024, 2006.
- RAVINDRANATH, N.H; BALACHANDRA, P; DASAPPA, S; RAO, K.U. Bioenergy technologies for carbon abatment. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v.30, p. 826-837, 2006.
- RESENDE, A.S. **A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) como suporte da fertilidade nitrogenada dos solos e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar: uso de adubos verdes**. 2000. 143f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2000.
- RESENDE, A.S. **Efeito da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar**. 2003. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2003.
- ROBERTSON, T. and SHAPOURI, H. Biomass: an Overview in the United States of America, Proceedings First Biomass Conference of the America: **Energy, Environment, Agriculture, and Industry**, Burlington, Vermont, U.S.A. p. 1-17, 1993.
- SANTOS, M.V.F.; JÚNIOR, J.C.B.; SILVA, M.C.; SANTOS, S.F.; FERREIRA, F.L.C.; MELLO, A.C.L.; FARIAS, I.; FREITAS, E.V. Produtividade e Composição Química de Gramíneas Tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.821-827, 2003.
- SAMSON, R; MANI, S; BODDEY, R; SOKHANSANJ, S; QUESADA, D; URQUIAGA, S; REIS, V; HO LEM, C. The potential of c4 perennial grasses for developing a global Bioheat Industry. **Plant Science**, Limerick, v.24, p.1-35, 2005.
- SANCHEZ, F.G.; COLEMAN, M.; GARTEN, C.T.; LUXMOORE, R.J.; STANTURF, J.; TRETTIN, C.; WULLSCHLEGER, S.D. Soil carbon, after 3 years, under short-rotation woody crops grown under varying nutrient and water availability. **Biomass and Bioenergy**, Rotterdam, v. 31., n 1, p. 793-801, 2007.
- SACCHET, A. M. de O. F. et al. 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., ARRUDA, N.G., RUIZ, M.A.M. Avaliação de cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) no sul da Bahia.1. Agrossistema cacauero. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.18, n. 3, p. 273-283, 1989.
- SANTOS, E. A., SILVA, D. S. QUEIROZ FILHO, J. L. Perfilhamento e algumas características morfológicas do capim-elefante cv. Roxo sob quatro alturas de corte em duas épocas do ano. **Rev. Bras. Zootec.**, v.30, n.1, p.24-30. 2001.
- SANTOS, H.Q.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, p.173-182, 2002.
- SAVIOLI, N. M. F. de.; FUKUSHIMA, R. S.; LIMA, C. G.; GOMIDE, C. A. 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.**, v. 29, n. 4, p. 988-996, 2000.

- SHEARER, G. & KOHL, D.H. N<sub>2</sub> fixation in field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, 699-756, 1986.
- SMITH, L.L. Decentralized gasification of napier grass. **Energy economist**. San Juan, Puerto Rico, 16-22, 2005.
- SMITH J.L.; MYUNG H. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for <sup>15</sup>N analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 21, n. 17 and 18: 2173-2180, 1990.
- SCHEMER, M.R.; VOGEL, K.P.; MITCHELL, R.B.; PERRIN, R.K. Net energy of cellulosic ethanol from switch grass. **PNAS**, v.105, n.2, p. 464-469, 2008.
- STEVENSON F.J. **Humus chemistry**. New York, John Willey & Sons. 1982. 443p.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2 ed. Sunderland: Sinauer. 1998. 792p
- URQUIAGA S.; RESENDE A.S.; ALVES B.J.R.; BODDEY R.M.; DÖBEREINER . Fixação biológica de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar: perspectivas. In: WORKSHOP Sobre AVALIAÇÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR. 1997. Aracajú, SE, **Anais...** Aracajú, SE.. Embrapa-CPATC, 1997, 126 p.
- URQUIAGA S.; ALVES, B.; BODDEY R.M. Capim Elefante: Uma nova fonte alternativa de energia. Ambiente Brasil (<[http: www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)). Acesso em 20 de novembro de 2007.
- URQUIAGA S.; CRUZ K.H.S.; BODDEY R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56:105-114, 1992.
- VALLIS I.; HAYDOCK K.P.; ROSS P.J.; HENZELL E.F. Isotopic studies on the uptake of nitrogen by pastures. III. The uptake of small additions of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer by Rhodes grass and Townsville lucerne. **Aust. J. Agric. Res.**, v.18, p. 865-877, 1967.
- VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. **J. Assoc. Official Agr. Chem.**, v. 51, p.780-785, 1968.
- VICENTE-CHANDLER, J.; FIGARELLA, J.; SILVA, S. Effects of nitrogen fertilization in frequency of cutting on the yield and composition of Napier in Puerto Rico. **Journal Agriculture University Puerto Rico**, Rio Piedras, v. 43, p. 215-227, 1959.
- VICENTE-CHANDLER, J.; CARO-COSTAS, R.; PEARSON, R.W.; ABRUNA, F.; FIGARELLA, J.; SILVA, J. The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. Puerto Rico: University Puerto Rico – **Agricultural Experimental Station**, (Buletin) 152p. 1974.

## 8. ANEXOS

**Anexo A** - Índices pluviométricos relativos aos 18 meses de cultivo (06/2005 à 12/2006) de cinco genótipos de capim elefante em Anchieta - ES. (Inmet, 2007)

Índices Pluviométricos (mm)				
Mês	2005	2006	2007	Média
Janeiro	86,10	122,70	172,40	127,07
Fevereiro	165,20	65,50	59,40	96,70
Março	192,30	180,90	13,80	129,00
Abril	49,20	129,80	85,60	88,20
Maio	122,20	14,80	58,80	65,27
Junho	211,30	56,80	23,20	97,10
Julho	118,20	41,40	40,60	66,73
Agosto	23,80	109,90	35,50	56,40
Setembro	200,70	101,80	145,60	149,37
Outubro	94,10	92,20	98,70	95,00
Novembro	200,10	237,80	198,50	212,13
Dezembro	178,50	288,00	148,50	205,00
Anual	1.641,70	1.441,60	1.080,60	1.387,97

**Anexo B** - Rendimento médio de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de cinco genótipos de capim elefante, cultivados sob diferentes condições de manejo, como efeito da aplicação de duas doses de N-fertilizante.

Matéria Seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )							
Tratamento	Junho de 2005 à Dezembro de 2005			Dezembro de 2005 à Junho de 2006			Total 12 Meses
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
0	7,64	a 6,43	a 14,07	a 12,04	a 7,76	a 19,8	a 33,87
50	7,19	a 6,07	a 13,26	a 13,3	a 8,7	a 22	a 35,26
Média	7,42	6,25	13,67	12,67	8,23	20,90	34,57
CV %	31,30	27,25	32,30	27,28	35,68	31,28	33,25

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p=0,05$ )

**Anexo C** - Acúmulo de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante, cultivados sob diferentes condições de manejo, como efeito da aplicação de duas doses de N-fertilizante, no 1º e 2º ciclo de estudo.

N Total Acumulado ( $\text{kg ha}^{-1}$ )							
Tratamento	Junho de 2005 à Dezembro de 2005			Dezembro de 2005 à Junho de 2006			Total 12 Meses
	Colmo	Folha	Total	Colmo	Folha	Total	
0	37.96	a 73.29	a 111.25	a 47.61	a 37.17	a 84.78	a 196.04
50	41.43	a 82.79	a 124.22	a 42.45	a 37.76	a 80.22	a 204.45
Média	39.69	78.04	117.73	45.03	37.47	82.50	200.24

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p=0,05$ )

**Anexo D**-N total acumulado (kg ha<sup>-1</sup>), por cinco genótipos de Capim elefante, cultivados Ponta Ubú, Anchieta-ES, para o 3º ciclo.

N Total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )						
Junho de 2006 à Dezembro de 2006						
	Colmo		Folha		Total	
BAG	16.72	a	38.13	a	54.85	a
F06-3	18.04	a	48.13	a	66.17	a
F79-2	20.04	a	60.63	a	80.67	a
Gramafante	16.60	a	44.46	a	61.06	a
Cameroon	14.23	a	33.28	a	47.51	a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

**Anexo E**-Índices pluviométricos relativos aos 23 meses de cultivo (10//2005 à 09/2007) de cinco genótipos de capim elefante em Anchieta - ES. (Pesagro, RJ)

Mês	2005			2006		
	Precipitação	Umidade	Temp	Precipitação	Umidade	Temp
	Mm	%	°C	Mm	%	°C
Janeiro	189,2	60,3	26,8	151,2	66,7	25,7
Fevereiro	61,8	57	26,1	239,9	70,7	26,9
Março	166,9	63	26,3	95,1	70,7	26,5
Abril	90,9	71	25,7	66,6	71,7	24
Mai	82,6	63	22,8	52,1	75,7	20,7
Junho	28,3	58,7	21,5	43,7	74,3	20,5
Julho	79,2	66,3	19,8	21,8	69,3	20,5
Agosto	11,8	64,3	22,5	47,4	76,5	21,4
Setembro	98,9	78,7	21,5	65,3	77,6	22
Outubro	48,5	73,4	24,4	141	82,7	22,8
Novembro	163,5	75	23,5	134,3	80	24
Dezembro	217,3	74,7	23,6	144,5	76	25,9
Anual	1238,9	67,1	23,7	1202,9	74,3	23,4

**Anexo F** - Variação por bloco de delta <sup>15</sup>N de três testemunhas e de cinco genótipos de Capim Elefante, em três cortes, em Anchieta-ES.

1º Colheita								
Bloco	Bag	F 06-3	F 79-2	Gramafante	Cameroon	<i>Panicum maximum</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	<i>Sida carpinifolia</i>
BL1	5,29b	4,15 b	4,75 b	5,25 b	5,12 b	7,25 a	7,05 a	7,54 a
BL2	4,03 b	3,45 b	4,12 b	4,62 b	4,45 b	7,80 a	6,86 a	6,29 a
BL3	5,54 b	3,95 b	5,15 b	5,45 b	4,46 b	7,92 a	8,03 a	7,11 a
BL4	4,91b	4,02 b	4,47 b	4,82 b	5,45 b	7,12 a	7,35 a	8,12 a
Média	4,94 b	3,89 b	4,62 b	5,04 b	4,87 b	7,52 a	7,32 a	7,27 a
2º Colheita								
Bloco	Bag	F 06-3	F 79-2	Gramafante	Cameroon	<i>Panicum maximum</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	<i>Sida carpinifolia</i>
BL1	4,12 b	3,95 b	3,87 b	5,22 b	4,78 b	7,24 a	7,88 a	7,81 a
BL2	3,77 b	2,88 b	3,56 b	4,15 b	3,56 b	6,58 a	6,77 a	7,69 a
BL3	3,19 b	2,63 b	2,56 b	5,45 b	3,45 b	6,15 a	7,15 a	6,85 a
BL4	4,44 b	3,78 b	2,89 b	4,14 b	4,53 b	7,15 a	6,78 a	7,45 a
Média	3,88 b	3,31 b	3,22 b	4,74 b	4,08 b	6,78 a	7,145 a	7,45 a
3º Colheita								
Bloco	Bag	F 06-3	F 79-2	Gramafante	Cameroon	<i>Panicum maximum</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	<i>Sida carpinifolia</i>
BL1	4,63 b	4,76 b	4,10 b	5,11 b	4,44 b	7,21 a	7,11 a	7,74 a
BL2	4,45 b	4,44b	4,32b	4,87b	4,19 b	6,75 a	8,12 a	6,98 a
BL3	4,25 b	5,55 b	4,74 b	4,56 b	6,12 b	6,37 a	7,56 a	7,02 a
BL4	4,18 b	5,12 b	5,21b	4,39 b	5,45 b	8,25 a	9,45 a	8,51 a
Média	4,37	4,96	4,59 b	4,73 b	5,05	7,14	8,06	7,56

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

**Anexo G** - Variação por bloco de delta <sup>15</sup>N de três testemunhas e de cinco genótipos de Capim Elefante, no 1º ciclo, crescidos em dois tipos de solos em Seropédica-RJ

Argissolo								
Genótipos						Testemunhas		
Bloco	CNPGL F06-3	Gramafante	Bag	Roxo	Cameroon	<i>Emilia sonchifolia</i>	<i>Tradescantia fluminensis</i>	<i>Arnica montana</i>
BL1	5,02 b	4,89 b	4,67 b	5,25 b	5,78 b	6,99 a	6,10 a	7,40 a
BL2	3,98 b	4,01 b	4,87 b	5,71 b	4,12 b	6,19 a	7,32 a	5,54 a
BL3	4,12 b	4,85 b	3,56 b	4,75 b	4,14 b	6,57 a	6,91 a	6,13 a
BL4	4,69 b	4,27 b	3,89 b	4,84 b	4,16 b	6,45 a	6,51 a	6,21 a
Média	4,45 b	4,51 b	4,25 b	5,14 b	4,55 b	6,55 a	6,71 a	6,32 a

Planossolo								
Genótipos						Testemunhas		
Bloco	CNPGL F06-3	Gramafante	Bag	Roxo	Cameroon	<i>Emilia sonchifolia</i>	<i>Tradescantia fluminensis</i>	<i>Arnica montana</i>
BL1	4,11 b	5,47 b	4,89 b	6,12 b	5,26 b	7,65 a	8,25 a	8,07 a
BL2	3,23 b	4,24 b	5,61 b	5,69 b	4,95 b	6,99 a	7,45a	7,73 a
BL3	3,41 b	4,07 b	4,75 b	5,25b	4,43 b	7,98 a	7,65a	7,55 a
BL4	4,49 b	5,55 b	4,97 b	5,03 b	5,01 b	8,23 a	8,47 a	8,20 a
Média	3,81 b	4,83 b	5,06 b	5,52 b	4,91 b	7,71 a	7,96 a	7,89 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

**Anexo H** - Variação por bloco de delta <sup>15</sup>N de três testemunhas e de cinco genótipos de Capim Elefante, no 2º ciclo, crescidos em dois tipos de solos em Seropédica-RJ

Argissolo								
Genótipos						Testemunhas		
Bloco	CNPGL F06-3	Gramafante	Bag	Roxo	Cameroon	<i>Emilia sonchifolia</i>	<i>Tradescantia fluminensis</i>	<i>Arnica montana</i>
BL1	3,9 b	4,00 b	4,86 b	4,10 b	3,70 b	7,66 a	6,45 a	7,40 a
BL2	4,2 b	3,50 b	4,86 b	3,60 b	4,50 b	6,70 a	7,89 a	7,02 a
BL3	4,15 b	4,50 b	5,12 b	3,90 b	3,60 b	7,44 a	7,31 a	6,23 a
BL4	4,1b	4,75 b	4,89 b	4,30 b	4,12 b	6,42 a	6,84 a	6,53 a
Média	4,09 b	4,19 b	4,93 b	3,98 b	3,98 b	7,06 a	7,12 a	6,80 a

Planossolo								
Genótipos						Testemunhas		
Bloco	CNPGL F06-3	Gramafante	Bag	Roxo	Cameroon	<i>Emilia sonchifolia</i>	<i>Tradescantia fluminensis</i>	<i>Arnica montana</i>
BL1	4,25 b	5,25 b	5,25 b	4,21 b	4,15 b	8,15 a	8,45 a	8,25 a
BL2	4,87 b	3,56 b	4,26 b	5,25 b	4,25 b	7,45 a	8,45 a	7,65 a
BL3	4,25 b	4,78 b	3,78 b	5,65 b	4,01 b	7,25 a	7,78 a	7,60 a
BL4	4,68 b	4,25 b	4,98 b	4,98 b	3,89 b	7,97 a	7,15 a	8,05 a
Média	4,51 b	4,46 b	4,57 b	5,02 b	4,08 b	7,71 a	7,96 a	7,89 a

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)

**Anexo I** - Variação por bloco de delta <sup>15</sup>N de três testemunhas e de cinco genótipos de Capim Elefante, no 3º ciclo, crescidos em dois tipos de solos em Seropédica-RJ

Argissolo								
Genótipos						Testemunhas		
Bloco	CNPGL F06-3	Gramafante	Bag	Roxo	Cameroon	<i>Tradescantia fluminensis</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	<i>Arnica montana</i>
BL1	5,53 b	5,08 b	5,12 b	5,92 b	5,00 b	8,53 a	7,57 a	8,76 a
BL2	4,17 b	5,30 b	4,68 b	5,46 b	4,85 b	7,57 a	8,70 a	7,57 a
BL3	5,27 b	5,36 b	4,74 b	5,02 b	4,17 b	6,05 a	6,56 a	8,55 a
BL4	4,68 b	4,85 b	5,27 b	6,38 b	4,44 b	5,36 a	6,07 a	7,85 a
Média	4,91	5,15	4,95	5,69	4,61	6,88	7,23	8,18
Planossolo								
Genótipos						Testemunhas		
Bloco	CNPGL F06-3	Gramafante	Bag	Roxo	Cameroon	<i>Emilia sonchifolia</i>	<i>Tradescantia fluminensis</i>	<i>Arnica montana</i>
BL1	4,12 b	4,27 b	3,88 b	5,87b	4,17 b	5,87 b	6,14 a	6,99 a
BL2	4,68 b	3,37 b	5,07 b	4,10 b	2,81 b	5,51 b	5,37 a	5,64 a
BL3	3,49 b	3,91 b	2,98 b	4,32 b	3,32 b	6,21b	7,72 a	5,07 a
BL4	3,76 b	3,59 b	3,37 b	5,19 b	3,69 b	7,12 b	6,82 a	6,53 a
Média	4,02	3,78	3,82	4,87	3,49	6,18	6,51	6,06

Em cada coluna, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p=0,05)