

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Potencial das cinzas da queima de biomassa energética de  
capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) como  
fonte de nutrientes**

**Luis Cláudio Jordão da Cruz**

**2014**



UFRRJ

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**POTENCIAL DAS CINZAS DA QUEIMA  
DE BIOMASSA ENERGÉTICA DE CAPIM-ELEFANTE  
(*Pennisetum purpureum* Schum.) COMO FONTE DE NUTRIENTES**

**LUIS CLÁUDIO JORDÃO DA CRUZ**

*Sob a Orientação do*

**Dr. Segundo Sacramento Urquiaga Caballero**

*e Co-orientação da*

**Dr<sup>a</sup>. Cláudia Pozzi Jantalia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2014

631.86  
C957p  
T

Cruz, Luis Cláudio Jordão da, 1983-  
Potencial das cinzas da queima de  
biomassa energética de capim-elefante  
(*Pennisetum purpureum* Schum.) como fonte de  
nutrientes / Luis Cláudio Jordão da Cruz. -  
2014.  
80 f.

Orientador: Segundo Sacramento Urquiaga  
Caballero.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, 2014.

Bibliografia: f. 60-63.

1. Adubos e fertilizantes orgânicos -  
Teses. 2. Capim-elefante - Teses. 3.  
Plantas - Nutrição - Teses. 4. Biomassa  
vegetal - Teses. 5. Fertilidade do solo -  
Teses. I. Urquiaga Caballero, Segundo  
Sacramento, 1950- II. Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-  
Graduação em Fitotecnia. III. Título.

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

**LUIS CLÁUDIO JORDÃO DA CRUZ**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**,  
no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/12/2014.

---

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero  
PhD. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

---

Bruno José Rodrigues Alves  
PhD. Embrapa Agrobiologia

---

Adelson Paulo de Araujo  
Prof. Dr Departamento de Solos da UFRRJ

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esta dissertação aos meus amados pais Irene Jordão da Cruz e Roberto José da Cruz e à minha companheira Nadia Rossi de Almeida, pela credibilidade e confiança depositados em mim. Dedico a vocês com todo meu amor!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço por esta dissertação, acima de tudo, à Deus, que nos deu a razão para tudo o que podemos realizar. Abençoou-me com a minha família, minha companheira, meus amigos e todas as alegrias, que torna a vida mais suave, e provações, que me faz crescer moral e espiritualmente. Obrigado Senhor!

Aos meus pais Irene Jordão da Cruz e Roberto José da Cruz, pelo amor, carinho, compreensão, crença e confiança, transmitidos desde o meu nascimento até então!

À minha amada companheira de todas as horas Nadia Rossi de Almeida, por toda a ajuda e compreensão nesta etapa importante da minha vida!

À minha família, em especial à minha saudosa avó Leonídia Ferreira Jordão (*in memoriam*) e minha tia Irinéa Ferreira Jordão, pelo carinho e amor!

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia e seu corpo docente e administrativo.

À Embrapa Agrobiologia e seus pesquisadores Segundo Urquiaga, Claudia Jantalia, Bruno Alves e Robert Boddey. Aos colegas de Laboratório Rafael Fiuza, Nivaldo Schultz, Ana Paula Guimarães, Selenobaldo, Fernando Zuchello, Erika, Marcio, Josimar e Doan. Ao pessoal de campo Ernani Meirelles, Alderi, Eugênio, Fredson, Luciano e Josias. Aos analistas Selmo, Altiberto, Roberto Grégio, Roberto Andrade, Monalisa, Gisele, Renato e Ednelson e aos estagiários.

Aos amigos de velhos tempos, Fernando A. Afonso Jr., Peterson A. de Souza, Thiago Abreu, Fábio S. Dias Valente, Máyra França e toda turma da Capota!

À todos os amigos e colegas que conheci nestes anos na UFRRJ, entre eles Bruno M. Lobo (Lobão), Bruno Morais (Touro), Bruno Bueno (Malandro), Giulyanno Souza (Piulpo), Diogo Peruzzi (Mafalda), Rômulo Borges (Mineiro) e Bruno Esteves (Pacote). Responsáveis por saudosas histórias, que nos faz reviver a cada lembrança muitas alegrias.

À galera do “Melhor Período” de Educação Física, aos quais sinto muito carinho e saudade.

Aos amigos do alojamento M4-427, Mauro de Medeiros, Gustavo Cardoso, Renan Pedula, Adalto Costa e Victor Pezin, pela agradável convivência e moradia!

Aos amigos do Templo Umbandista Mensageiros de Luz, encarnados e desencarnados, em especial Claudio Bertahone e Vera Zambeli, pelas graças alcançadas, pela disciplina, pelo tempo despendido, pela força e pela fé! Saravá!

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram

MUITO OBRIGADO!

## **BIOGRAFIA**

Luis Cláudio Jordão da Cruz, filho de Roberto José da Cruz e Irene Jordão da Cruz, nasceu em 16 de outubro de 1983, na cidade Sul-fluminense de Vassouras, estado do Rio de Janeiro. Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no ano de 2012. Na graduação iniciou o envolvimento na pesquisa como monitor no das disciplinas de Sistemática Vegetal e na composição de exsicatas no Herbário RBR do Departamento de Botânica, no Instituto de Biologia, nos anos de 2008 e 2009. Posteriormente ingressou como bolsista de Iniciação Científica do CNPq na Embrapa Agrobiologia, no Grupo de Ciclagem de Nutrientes durante 2009. Em 2010, tornou-se bolsista CNPq-PIBIC no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos, no Instituto de Agronomia, onde permaneceu até a conclusão do curso de graduação. Em 2012 ingressou no curso de Pós-graduação em Fitotecnia da UFRRJ em nível de Mestrado.

## RESUMO

CRUZ, Luis Cláudio Jordão da. **Potencial das cinzas da queima de biomassa energética de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) como fonte de nutrientes.** 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Nas regiões tropicais úmidas o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), também conhecido como Napier, de origem Africana, é conhecido por sua alta produção de biomassa, o que o tornou um candidato ideal para seu uso como matéria-prima energética para a indústria de biocombustíveis, desde que a dose de fertilizantes nitrogenados, principalmente, seja baixa para evitar altas entradas de gastos com combustíveis fósseis. Na busca de fontes de biomassa para a produção de calor ou energia elétrica com redução de gases de efeito estufa (GEE), destacam-se o uso de gramíneas C<sub>4</sub> altamente produtivas, como *Miscanthus*, *Panicum* e *Saccharum* spp. Por este motivo, diversos acessos de capim-elefante foram investigados sobre a capacidade de alta produção de matéria seca sem adições de fertilizantes nitrogenados, onde os maiores produtores de biomassa sem N foram genótipos como Cameroon e Gramafante. Foram isoladas bactérias fixadoras de N em números elevados a partir de genótipos desta espécie, que resultaram no estudo com 14 genótipos plantados em solo com baixo enriquecimento <sup>15</sup>N com produção de mais de 30% do seu N da fixação biológica de N. Após 10 anos de estudo, cinco genótipos de capim-elefante foram indicados pela alta produção de biomassa, onde se verificou também uma grande quantidade de extração de K do solo, o que evidencia ainda mais a utilização, ou reutilização, de suas cinzas como fonte de nutriente, para minimizar o consumo do referido insumo. O objetivo deste estudo foi investigar o potencial de cinzas de cinco genótipos de capim-elefante e de cinzas provenientes de forno industrial para disponibilizar nutrientes em solos de baixa fertilidade, com comparação da eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas em resposta de diferentes doses de cinzas e fertilizantes minerais. Três experimentos em vasos utilizaram cinzas provenientes de 5 diferentes genótipos de capim-elefante (Gramafante, Cameroon, BAG 02, CNPGL F06-3 e Roxo) que foram conduzidos com solo de baixa fertilidade, com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) como planta indicadora do desenvolvimento vegetal. O experimento em vasos consistiu com tratamentos com as cinzas dos genótipos de capim-elefante, em contraste com fertilizante mineral. Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados (fatorial 3x2+1), com cinco repetições, colhido em seis ocasiões, com intervalos de 60 dias após o estabelecimento da biomassa de braquiária. Um experimento de campo em solo de baixa fertilidade com as cinzas derivada da indústria cerâmica de geração de energia térmica foi realizado com uso do genótipo de capim-elefante Cameroon. O solo utilizado em todos os experimentos foi Planossolo de Seropédica, Rio de Janeiro. Os experimentos em vasos mostraram uma forte correlação entre a quantidade de nutriente aplicado e a absorção de nutrientes pela braquiária em todas as doses de adubos minerais ou das cinzas. O experimento de campo não mostrou diferenças de rendimento ou de absorção de nutrientes no genótipo de capim-elefante Cameroon.

**Palavras-chave:** Biomassa, Bioenergia, cinzas de plantas.

## ABSTRACT

CRUZ, Luis Cláudio Jordão da. **Potential of ashes from the burning of energetic biomass from elephant grass (*Pennisetu purpureum* Schum.) as a source of nutrients.** 66p. Dissertation (Master Science in Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

In the humid tropics elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.), also known as Napier, of African origin, is known for its high production of biomass, which made him an ideal candidate for use as an energy feedstock for the biofuels industry, since the amount of fertilizer nitrogen mainly be low to avoid high costs inputs from fossil fuels. In the search for sources of biomass for the production of heat or electricity to reduce greenhouse gas (GHG), highlight the use of highly productive C<sub>4</sub> grasses such as *Miscanthus*, *Panicum* and *Saccharum* spp. For this reason, many elephant grass accessions were investigated on the ability of high dry matter production without additions of nitrogen fertilizers, where the largest producers of biomass without N genotypes were as Cameroon and Gramafante. Bacteria were isolated fixing N in high numbers from this species genotypes, resulting in the study with 14 genotypes planted in soil with low 15N enrichment with production of more than 30% of its N biological fixation of N. After 10 years study, five elephant grass genotypes were indicated by the high biomass production, where there was also a lot of soil K extraction, which further highlights the use or reuse of the ashes as a nutrient source for minimize the consumption of said input. The objective of this study was to investigate the potential of ash five elephant grass genotypes and ash from industrial furnace to provide nutrients in soils of low fertility, comparing efficiency of use of nutrients by plants in response to different doses of ash and fertilizers minerals. Three experiments in pots used ash from 5 different elephant grass genotypes (Gramafante, Cameroon, BAG 02, CNPGL F06-3 and Roxo) that were conducted with low fertility soil, with brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf.) as an indicator plant of plant development. The experiment consisted in pots with treatments with the ashes of elephant grass genotypes, contrasting with mineral fertilizer. The treatments were arranged in a randomized block design (factorial 3x2+1), with five repetitions, harvested six times at intervals of 60 days after the establishment of biomass brachiaria. A low fertility soil in a field experiment with the ashes derived from the ceramics industry of thermal power generation was conducted using elephant grass Cameroon genotype. The soil used in all experiments was Seropédica's Planosol, Rio de Janeiro. Experiments in pots showed a strong correlation between the amount of nutrients applied and absorption of nutrients by brachiaria at all doses of mineral fertilizers or ashes. The field trial showed no differences in income or absorption of nutrients in the elephant grass genotype Cameroon.

**Key words:** Biomass, Bioenergy, ashes of plants.

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Análise de solo utilizado para cultivo de <i>B. decumbens</i> na casa de vegetação (Experimento 1). .....	21
Tabela 2: Tratamentos e doses usadas no experimento em casa de vegetação com <i>B. decumbens</i> (Experimento 1).....	22
Tabela 3: Análise de solo utilizado para cultivo de <i>B. decumbens</i> no experimento 2. ....	23
Tabela 4: Tratamentos com doses equitativas de nutrientes no experimento em vasos com <i>B. decumbens</i> (Experimento 2).....	24
Tabela 5: Análise de solo para utilização no experimento com cinzas de capim-elefante como corretivo de solo.....	25
Tabela 6: Quantidade de elementos químicos nas cinzas de capim-elefante derivada de cinco genótipos. ....	27
Tabela 7: Biomassa seca de parte aérea (P.A.), raiz e quantidade de macronutrientes extraídos de <i>B. decumbens</i> em seis coletas em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1). ....	28
Tabela 8: Análises estatísticas entre os tipos de produtos utilizados de <i>B. decumbens</i> em seis coletas em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1). ....	29
Tabela 9: Análise entre os tratamentos e testemunha experimento 1.....	31
Tabela 10: Biomassa de parte aérea (P.A.), raiz e macronutrientes extraídos de <i>B. decumbens</i> em seis coletas em ambiente externo (EXPERIMENTO 2). ....	37
Tabela 11: Análises estatísticas entre os tipos de produtos utilizados de <i>B. decumbens</i> em seis coletas (EXPERIMENTO 2).....	38
Tabela 12: Análise entre os tratamentos e testemunha experimento 2.....	40
Tabela 13: Análise de solo após 20 e 40 dias de incubação dos tratamentos.....	45
Tabela 14: Análise de Solo para cultivo do genótipo Cameroon utilizando cinzas de biomassa vegetal utilizada em forno para fins energéticos:.....	53
Tabela 15: Caracterização química das cinzas de biomassa vegetal derivada de forno de indústria cerâmica localizada em Campos dos Goytacazes-RJ: .....	54
Tabela 16: Produção média de biomassa seca de capim-elefante, genótipo Cameroon, em 12 meses de cultivo. ....	55
Tabela 17: Quantidades de nutrientes extraídos por partes da planta de capim-elefante, genótipo Cameroon. ....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tendência mundial em emissões de GEE (utilizando os valores do Global Warming Potential usado pela UNFCCC/Protocolo de Kyoto). Este gráfico mostra emissões de 50,1 GtCO <sub>2</sub> e em 2010, derivado de um modelo do cenário atual no inventário de emissões. (Adaptado de The Emissions Gap Report 2012, UNEP). ....	4
Figura 2: Consumo de energia primária mundial, em milhões de toneladas de óleo equivalente (BP, 2014). ....	5
Figura 3: Cronograma do experimento na casa de vegetação (Experimento 1).....	23
Figura 4: Cronograma do experimento em vasos em área externa (Experimento 2). ....	23
Figura 5: Esquema do experimento 1 e 2: números acima dos retângulos referem-se aos vasos e números dentro do retângulo referem-se aos tratamentos plantados com <i>B. decumbens</i> (1-controle; 2, 3 e 4 – cinzas; 5, 6 e 7- fertilizante comercial).....	25
Figura 6: Biomassa seca de <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1).....	31
Figura 7: Biomassa seca de raízes de <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em casa de vegetação em 12 meses de cultivo (EXPERIMENTO 1). ....	32
Figura 8: quantidade (g vaso <sup>-1</sup> ) de macronutrientes extraídos por <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1). ....	34
Figura 9: Quantidade de macronutrientes extraídos por raízes de <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em casa de vegetação em 12 meses de cultivo (EXPERIMENTO 1).....	36
Figura 10: Biomassa seca da parte aérea produzida por <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em ambiente externo (EXPERIMENTO 2). ....	40
Figura 11: Biomassa seca de raízes produzida por <i>B. decumbens</i> cultivado em vasos em ambiente externo durante 12 meses (EXPERIMENTO 2). ....	41
Figura 12: Quantidade de macronutrientes extraídos por <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em ambiente externo (EXPERIMENTO 2). ....	42
Figura 13: Quantidade de macronutrientes de raízes extraídos por <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em ambiente externo por 12 meses (EXPERIMENTO 2). ....	44
Figura 14: Quantidade de nutrientes encontrados na parte aérea por colheitas pelo genótipo Cameroon. ....	57

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 O uso da biomassa vegetal no contexto das mudanças climáticas.....	3
2.2 O setor industrial mineral para a agricultura e sua relação com fontes de energia.....	5
2.3 A produção de cinzas e sua utilização como fonte de nutrientes.....	8
2.4 As cinzas de capim-elefante e seu potencial como fonte de energia renovável.....	9
2.5 Fertilidade do solo e a contribuição das cinzas.....	12
2.6 Nutrição mineral e capim-elefante.....	13

### CAPÍTULO I

UTILIZAÇÃO DE CINZAS PROVENIENTES DA QUEIMA DE BIOMASSA DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) COMO FONTE DE NUTRIENTES E CORRETIVO PARA SOLOS..... 15

RESUMO ..... 16

ABSTRACT ..... 17

1. INTRODUÇÃO ..... 18

2 MATERIAL E MÉTODOS ..... 19

2.1 Obtenção e análise química das cinzas derivadas de cinco genótipos de *P. purpureum* para utilização nos experimentos em vasos..... 19

2.1.1 Análises de Cálcio e Magnésio. .... 20

2.1.2 Análises de Fósforo..... 20

2.1.3 Análises de Potássio..... 20

2.1.4 Análise do pH do solo..... 20

2.1.5 Análise de  $Al^{3+}$  e Acidez Potencial ..... 20

2.2 Implantação e condução de experimentos em vasos com cultivo de planta indicadora. 21

2.2.1 Avaliação da utilização das cinzas derivadas de capim-elefante como alternativa a utilização de  $K_2SO_4$  como fonte de potássio. EXPERIMENTO 1 ..... 21

2.2.2 Avaliação da utilização das cinzas derivadas de capim-elefante como alternativa a utilização de adubos minerais no fornecimento de macronutrientes. EXPERIMENTO 2..... 23

2.2.3	Delineamento experimental e tratamentos adotados nos experimentos 1 e 2. ....	24
2.3	Avaliação das cinzas da queima de biomassa de capim-elefante como corretivo de solo. EXPERIMENTO 3.....	25
2.3.1	Tratamentos e delineamento experimental do experimento 3.....	26
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
3.1	Caracterização das cinzas após incineração de cinco genótipos de <i>P. purpureum</i> em forno mufla. ....	27
3.2	Acúmulo de biomassa de <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos em casa de vegetação em resposta a utilização de cinzas e K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> como fontes de potássio. EXPERIMENTO 1.....	27
3.3	Quantidade de nutrientes extraídos por <i>Brachiaria decumbens</i> cultivados em vasos em casa de vegetação sob utilização de diferentes fontes de potássio. EXPERIMENTO 1.....	33
3.4	Acúmulo de biomassa de <i>B. decumbens</i> em 12 meses cultivados em vasos sob utilização de cinzas e fertilizantes minerais como fontes de nutrientes. EXPERIMENTO 2.....	36
3.5	Quantidade de nutrientes extraídos por <i>B. decumbens</i> cultivados em vasos sob utilização de cinzas e adubos minerais. EXPERIMENTO 2. ....	42
3.6	Avaliação das cinzas da queima de biomassa de capim-elefante utilizado como fonte energética como corretivo de solo. EXPERIMENTO 3.....	45
4	CONCLUSÕES.....	48

## CAPITULO II

UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE BIOMASSA VEGETAL PROVENIENTES DE FORNOS DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO CAPIM-ELEFANTE ( <i>Pennisetum purpureum</i> Schum.). ....	49
--	----

RESUMO .....	50
--------------	----

ABSTRACT .....	51
----------------	----

1 INTRODUÇÃO .....	52
--------------------	----

2 MATERIAL E MÉTODOS .....	53
----------------------------	----

2.1 Área Experimental e Implantação do Experimento .....	53
--	----

2.2 Delineamento experimental e tratamentos. ....	54
---	----

2.3 Coletas de biomassa e análises químicas. ....	54
---	----

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
--------------------------------	----

3.1 Produtividade de biomassa do capim-elefante (genótipo Cameroon) cultivado por 12 meses em Planossolo com dois tipos de produtos como fertilizantes. ....	55
--	----

3.2 Quantidade de nutrientes absorvidos pelo capim-elefante cultivado em Planossolo durante 12 meses com a utilização de duas fontes de nutrientes.....	56
4 CONCLUSÕES.....	58
CONCLUSÕES GERAIS .....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
ANEXOS .....	64
ANEXO A: .....	64
ANEXO B: .....	65
ANEXO C: .....	66

## INTRODUÇÃO GERAL

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), espécie da família Poaceae (anteriormente Gramineae), possui alta capacidade de acumulação de biomassa, com características qualitativas que permitem sua utilização no ramo agroenergético. Esta nova demanda da produção de biomassa vegetal foi gerada pela preocupação ambiental com as alterações no clima, causada pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) pela queima de fontes não renováveis. Assim a busca de alternativas visa atender, principalmente as atividades antrópicas, que atualmente dependem majoritariamente de combustíveis fósseis de origem não renováveis, recurso natural que não pode ser produzido, regenerado ou reutilizado numa escala de tempo e de grandeza que possa garantir sua taxa de consumo.

Atualmente, a busca por fontes de energia renováveis tem sido vertente de inúmeras pesquisas no mundo, diante de um cenário preocupante com relação à matriz energética mundial derivada de combustíveis fósseis, como o petróleo e o gás natural. Energia renovável é aquela derivada de processos naturais, e a biomassa é uma das fontes mais comuns e abundantes. Qualquer matéria orgânica derivada de plantas ou animais pode ser considerada biomassa, disponível em uma base renovável. A queima de biomassa exerce um efeito cíclico na atmosfera, reciclando CO<sub>2</sub> em um processo biológico através da fotossíntese.

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 combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural), além de serem finitas, contribui para o efeito estufa que ameaça o equilíbrio do clima da Terra (MORAIS, 2008). Nos últimos anos, foram desenvolvidas novas técnicas de uso de biomassa de capim-elefante como fonte de energia alternativa, e neste sentido, novo rumo deve ser dado em relação às características que se deseja obter da planta (URQUIAGA et al., 2006). Neste contexto, não mais importa uma planta rica em proteína para a alimentação de bovinos e outros animais, 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.

A preocupação é encontrar alternativas que possam ser úteis para a diminuição da dependência do petróleo sem que se tenha um decréscimo acentuado na economia, além de sistemas que tragam benefício sócio ecológico ou que agridam menos o meio ambiente.

O consumo de biomassa e de biocombustíveis quadruplica, enquanto os volumes comercializados a nível internacional aumentam. Os recursos mundiais para as bioenergias são mais que suficientes para satisfazer os níveis de provisão de biocombustíveis e biomassa, sem competir com a produção alimentar, embora convenha tratar com o maior cuidado as implicações em matéria de utilização dos terrenos. As fontes de energia renováveis aumentam a um ritmo rápido devido à baixa dos custos da tecnologia, ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis e do carbono, mas, sobretudo, aos subsídios, que continuam a ser concedidos. Os subsídios para apoiar novos projetos de energias renováveis devem ser ajustados ao longo do tempo, à medida que a capacidade aumentar e que os custos das tecnologias das energias renováveis diminuam, de modo a evitar sobrecarregar os governos e os consumidores. Em geral, as emissões de países desenvolvidos são contabilizadas pelo consumo de combustível, por volta de 65% a 85%. Para estes países a eficiência energética e as fontes de energia de baixo consumo de carbono são grandes opções de mitigação. Perfis de emissões de outros países são dominadas pela agricultura e silvicultura, fazendo que reduções nestes setores sejam mais importantes. Além disso, eles têm a oportunidade de evitar o alto uso de combustíveis fósseis, que caracterizam os mais desenvolvidos.

Uma das atividades que mais demandam energia na agricultura é provocada pela necessidade do consumo de insumos aplicados nas culturas. Por exemplo, a maioria dos

fertilizantes são obtidos por processos que demandam uma quantidade enorme de energia e/ou precisam ser transportados por enormes distâncias desde a matéria-prima até seu destino final no campo, transporte este, que na maioria das vezes, é movido por combustíveis fósseis.

O capim-elefante possui a característica de alta produtividade de biomassa devido à grande capacidade fotossintética, otimizando o uso da água, luz e nutrientes. Dessa maneira, seu cultivo pode ter diferentes fins como a produção de carvão vegetal, queima direta, aproveitamento de seu sistema radicular para o solo, entre outros. Com a utilização da biomassa para queima, após sua combustão, uma parte fica depositado em cinzas, tendo destino incerto, podendo ser problemático seu descarte no ambiente.

Na queima da biomassa, após a combustão, parte é convertida em CO<sub>2</sub>, difundido para a atmosfera, e parte fica depositado em cinzas, tendo destino e descarte incertos, podendo ser prejudicial ao meio ambiente ou um material com potencial de aproveitamento desperdiçado, diante disso, o trabalho tem por finalidade a avaliação das cinzas restantes após a combustão como fonte de nutrientes, amenizando a entrada e saída de nutrientes no campo de cultivo.

Como hipótese, foi proposto que o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) possui alta produtividade de biomassa através da FBN e seus resíduos provenientes da utilização bioenergética contribuem para culturas como fonte de nutrientes no solo.

O objetivo do estudo foi avaliar a quantidade e os tipos de nutrientes contidos nas cinzas obtidas pela combustão da biomassa de cinco genótipos de capim-elefante, simulando a utilização dos resíduos de alto-fornos, que atingem altas temperaturas, como fonte de nutrientes para as plantas.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O uso da biomassa vegetal no contexto das mudanças climáticas.

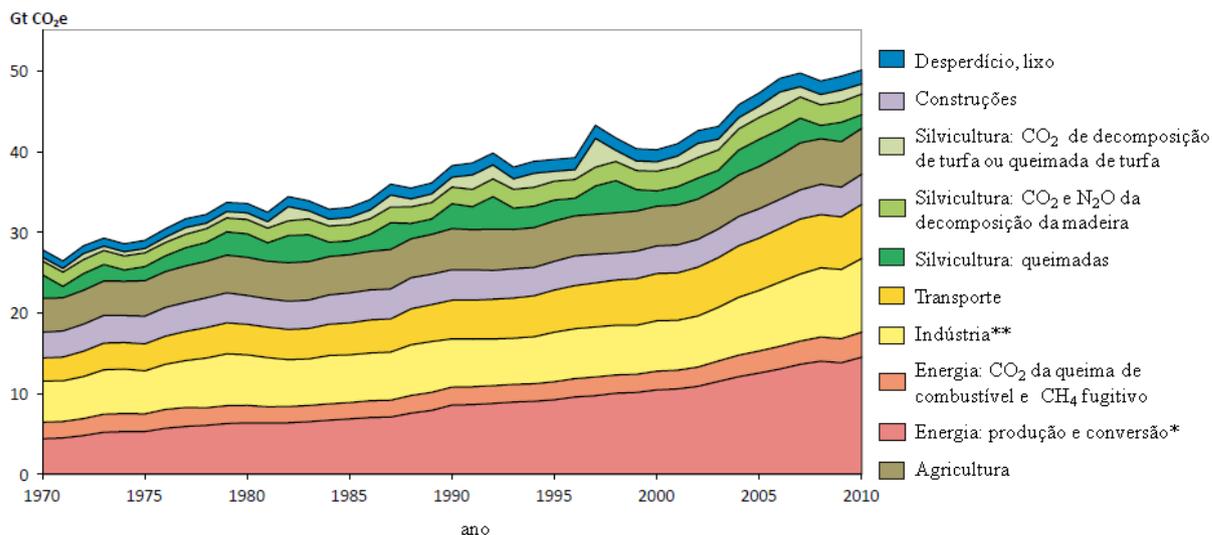
O planeta Terra atualmente sofre modificações em uma velocidade acelerada, muitas dessas, são impactos gerados pelo ser humano principalmente. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em sua revisão 2011, a população mundial atingiu o número de 7 bilhões de pessoas e estima-se uma população de 9 bilhões de pessoas em 2050, que pode chegar aos 10 bilhões em 2100. Dessa forma, a demanda energética mundial tende a aumentar. O declínio da disponibilidade dos recursos petrolíferos e de carvão mineral, que pode ocorrer nas próximas décadas, aponta para a necessidade de se obter formas alternativas de se produzir energia de maneira sustentável e com viabilidade econômica (ROCHA, 2009).

Desde 1972, onde a ONU convocou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo na Suécia, a preocupação com o meio ambiente tem sido investigada. Em 1988, foi criado o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC), fonte proeminente para a informação científica, depois adotada, em 1992, como instrumento internacional neste assunto a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Concomitantemente, o meio ambiente foi colocado diretamente na agenda pública de uma maneira nunca antes feita, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, na cidade brasileira do Rio de Janeiro, que ficou conhecida como a “Cúpula da Terra” na chamada Eco-92. Essa conferência adotou a “Agenda 21” como um diagrama para a proteção do planeta e seu desenvolvimento sustentável, onde os governantes delinearão um programa para afastar o modelo insustentável de crescimento econômico, a fim de proteger e renovar os recursos ambientais, os quais são dependentes. Anos mais tarde, foi estabelecido o Protocolo de Kyoto, em 1997, que traçou metas obrigatórias para países industrializados reduzirem as emissões de GEE, criado para atingir estes objetivos propostas de projetos com Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). A proposta do MDL consiste na implantação de um projeto em um país em desenvolvimento com o objetivo de reduzir as emissões de GEEs e contribuir para o desenvolvimento sustentável local. Cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera se transforma em uma unidade de crédito de carbono, chamada Redução Certificada de Emissão (RCE), que poderá ser negociada no mercado mundial. A continuação das discussões sobre meio ambiente culminou recentemente na Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), em maio de 2012, novamente no Rio de Janeiro, e em dezembro de 2012, em Doha, no Qatar, na 18ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP-18), que prorrogou o Protocolo de Kyoto até 2020.

Diante das propostas firmadas no Rio+20, com relação à energia, foi lançada a iniciativa de *Energia Sustentável para Todos* que diz que os serviços de energia deverão adquirir um nível básico mínimo tanto para uso de consumo como de produção, para melhorar a sua eficiência. A participação da energia renovável na matriz energética global deverá ser dobrada através da promoção do desenvolvimento e do uso de fontes e tecnologias de energia renovável em todos os países até 2030, além de adoção de mecanismos para o baixo consumo de carbono.

A figura 1 mostra a estimativa mundial histórica de emissões de GEEs por setor, onde em 2010, chegou ao patamar de 50,1 GtCO<sub>2</sub>e. Ao analisar o histórico pode-se observar uma tendência crescente nas emissões desses gases, assim como da produção e conversão de

energia na participação das emissões totais. Para 2020, há uma estimativa que essas emissões possam chegar a 58 GtCO<sub>2</sub>e se permanecido as tendências de atividades atuais (UNEP, 2012).



\* Geração de energia, refinarias, fornos etc.

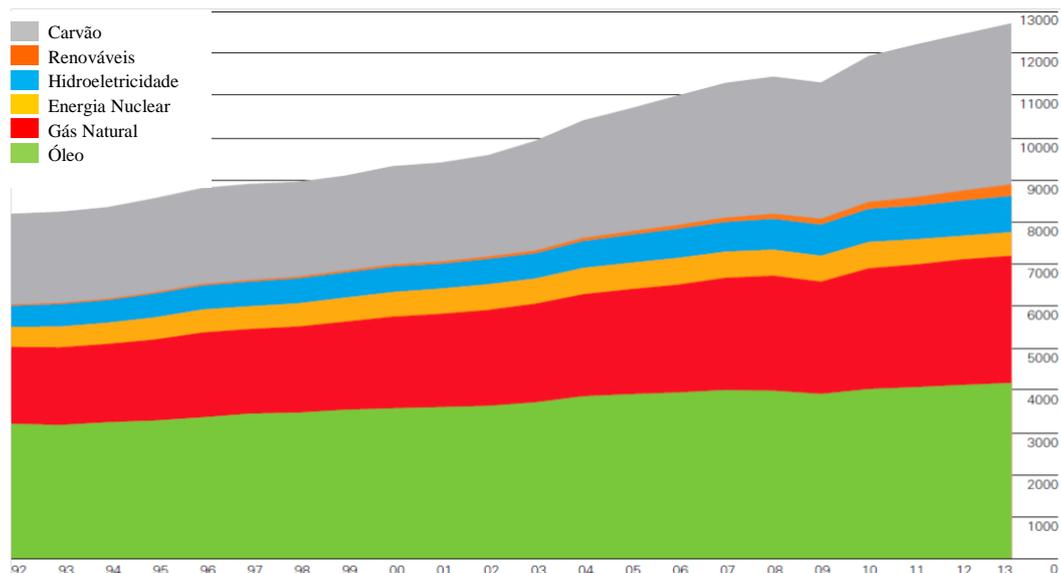
\*\* incluindo CO<sub>2</sub> não combustível do uso do calcário, uso não energético de combustíveis e N<sub>2</sub>O de produção química.

**Figura 1:** Tendência mundial em emissões de GEE (utilizando os valores do Global Warming Potential usado pela UNFCCC/Protocolo de Kyoto). Este gráfico mostra emissões de 50,1 GtCO<sub>2</sub>e em 2010, derivado de um modelo do cenário atual no inventário de emissões. (Adaptado de The Emissions Gap Report 2012, UNEP).

No mesmo estudo (UNEP, 2012), identificou-se que em 2010 o setor de energia emitiu 29,7% do total de GEEs produzidos no mundo e o setor industrial 15,9%. As taxas de emissões de CO<sub>2</sub> ficaram na faixa de 76%, seguido de 16% de CH<sub>4</sub>, 6% de N<sub>2</sub>O e 2% de F-gases (HFCs, PFCs, SFs). O Brasil firmou, como promessa incondicional, a redução das emissões de 36,1% para 38,9% abaixo das atividades atuais até 2020. Em 2010 o país emitiu 1621 MtCO<sub>2</sub>e, 3,2% das emissões globais.

Em comparação com a figura 1, pode-se traçar um paralelo com a figura 2, que demonstra o consumo de energia primária no mundo. De maneira empírica pode-se perceber que há uma tendência crescente em ambas as figuras, com uma relação entre a utilização de fontes de energias consumidas e emissões de GEEs. De maneira geral, pode-se afirmar que com o consumo de energia, há um aumento nas emissões de gases. Consequentemente, ao se utilizar fontes de energia-não renováveis, há a possibilidade de aumentar as emissões de GEE, o que confere um risco de aumento da temperatura global e respectivos impactos ambientais. Com isso, ratifica-se a necessidade do uso de fontes de energia renováveis, já que esta, atua de forma cíclica na cascata de fixação, produção de energia e emissão de GEE, principalmente no que diz respeito ao CO<sub>2</sub> atmosférico.

O petróleo continua combustível dominante do mundo, mas perdeu participação de mercado por 14 anos seguidos. A geração de energias renováveis tem atingido taxas recordes de consumo mundial de energia primária (BP, 2014).



**Figura 2:** Consumo de energia primária mundial, em milhões de toneladas de óleo equivalente (BP, 2014).

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) ao apresentar informações sobre emissões de GEE e sua relação com a matriz energética brasileira mostra que o país se destaca mundialmente pela sustentabilidade de sua matriz energética, com forte participação de fontes renováveis de energia (45,9%, quase quatro vezes a média mundial de 12,9%), dentre elas, destacando-se a biomassa. Apenas 9% das emissões de CO<sub>2</sub> são relacionadas à atividade industrial no Brasil, com o uso e a mudança no uso do solo responsáveis pela maior parte das emissões de GEE (75%). A partir da aplicação do MDL, o país passou a ocupar o terceiro lugar em volume de emissões reduzidas no mundo. Proporcionalmente às necessidades energéticas nacionais, a emissão de GEE advindas do setor energético é baixa, ao se tratar de um país que produz 2,0% da energia mundial, a participação nas emissões de GEEs é significativamente menor (1,1% das emissões globais). A participação da biomassa no Brasil na energia corresponde a 31,1%, enquanto que no mundo representa 10,7%. (BEN e IEA).

## 2.2 O setor industrial mineral para a agricultura e sua relação com fontes de energia.

A produtividade das culturas sempre teve uma íntima relação com o setor energético, no que diz respeito à necessidade de alteração das propriedades químicas e/ou físicas do solo, com a utilização de combustíveis para o transporte de insumos até o local de cultivo, no maquinário para o preparo do solo e na fabricação de determinados fertilizantes e corretivos. Com essa relação, o balanço energético de região para região pode variar, mesmo para uma mesma cultura, portanto, uma logística analítica de uso eficiente de fontes de energia e quantidades de insumos empregados deve ser um dos parâmetros para um empreendimento mais sustentável, com menores impactos nativos ao meio ambiente e à economia (ZHANG, 2011).

O crescimento do uso de fertilizantes no Brasil, segundo o relatório do IBGE apresentado na Rio+20, demonstrou que entre os anos de 1992 e 2012, o consumo mais que dobrou, de 70 kg ha<sup>-1</sup> para 150 kg ha<sup>-1</sup>. Segundo a Petrobrás, 70% dos fertilizantes nitrogenados são importados da Rússia e EUA, onde, do restante produzido no país, a empresa é responsável por 60% da produção nacional.

A produção mundial de N fertilizante chegou em 2012 ao patamar de 113.442.900 t, com um consumo de 109.056.500 t (IFA, 2014). Segundo a mesma fonte, no Brasil se produziu no mesmo ano 791.400 t deste produto e se consumiu 3.435.000 t, mediante a importação de 2.756.100 t, com exportação de apenas 36.300 t. Os fertilizantes nitrogenados

estão entre os mais utilizados na agricultura e são majoritariamente os mais danosos ao meio ambiente. A produção destes compostos é responsável por 94% do consumo de energia de toda produção de fertilizantes (IFA, 2014). Os principais combustíveis utilizados são o gás natural (73%), com consumo de aproximadamente 5% da produção anual mundial deste combustível no processo, e o carvão mineral (27%), ambos de origem fóssil, portanto, emissores de GEE. A produção de fertilizantes nitrogenados se dá pelo processo Haber-Bosch, onde o  $N_2$  atmosférico é captado e misturado com o  $CH_4$  do gás natural e algum catalisador metálico, como o óxido de ferro, sob alta temperatura e pressão, para formar amônia.

O petróleo é uma fonte de energia não-renovável mais utilizada e mais abundante no mundo, com reservas, até o ano de 2013, de 1.687,9 bilhões de barris (BP, 2014), 0,04% superior ao ano anterior (BP, 2014). Em 2014, o consumo cresceu cerca de 1,4 milhões de barris por dia ( $b\ d^{-1}$ ). Os países da OECD responderam pela maior parte do consumo (51%) mundial de petróleo e foi responsável pelo crescimento líquido global, liderando a lista os EUA com o consumo de 400 mil b/d, que ultrapassou o consumo chinês. O Brasil possui reservas de 15,3 bilhões de barris (ANP, 2014), na América Latina, menor apenas que a Venezuela (com 298,3 bilhões de barris). No país, em 2013 houve uma produção de 2114 mil  $b\ d^{-1}$ , que representou 2,7% da produção mundial de 86.754 mil  $b\ d^{-1}$ . O consumo nacional representou 3,2% (2973 mil  $b\ d^{-1}$ ) do consumo mundial (91.331 mil  $b\ d^{-1}$ ).

O consumo mundial de gás natural cresceu 1,4%, abaixo da média histórica de 2,6%, com reserva de 185,7 trilhões de  $m^3$  (BP, 2014). O crescimento foi abaixo da média em todas as regiões, exceto na América do Norte (+2,4%) e China (+10,8%), maiores incrementos no mundo com 81% do crescimento global. A Índia e União Europeia tiveram os maiores decréscimos no consumo. Globalmente, o gás natural representou 23,7% da energia primária consumida. O Brasil tem reservas de 0,45 trilhões de  $m^3$  de gás natural, com consumo em 2013 de 37,6 bilhões de  $m^3$  (1,1% em relação ao mundo) e produção de 21,3 bilhões de  $m^3$ , em um total mundial de 3.347 bilhões de  $m^3$  de consumo e de 3.390,5 bilhões de  $m^3$  de produção.

A produção mundial de carvão mineral tem registrado crescimento modesto, com aumento de 2,18% no a no de 2012 com relação ao ano de 2011 (DNPM, 2013), o que reflete a atual busca por fontes mais eficientes e pela diminuição de emissões de GEE. Apesar disso, projeta-se para os próximos anos um aumento na demanda para países como a China e a Índia, com estabilização até 2035 (IEA, 2012). Os maiores produtores em 2012 foram a China (46,4%), EUA (11,7%), Índia (7,7%) e Austrália (5,5%), com colocação do Brasil bem atrás (0,1%) com 6,63 Mt, de um total de 7.863,38 Mt produzidos no mundo (WCA, 2013; DNPM-AMB, 2013). No Brasil, a produtividade de carvão mineral foi positiva em 2012, comparado com o ano anterior (3,2% na produção bruta e 7,3% na produção beneficiada), com destaque para os estados do Rio Grande do Sul (63,6%), Santa Catarina (35,1%) e Paraná (1,3%) (DNPM, 2013). A demanda por este insumo energético está correlacionada com a necessidade de consumo e ao desempenho do setor siderúrgico, onde importou-se 18.424.376 t em 2012 dos EUA (37%), Austrália (20%), Colômbia (14%), Canadá (9%) e África do Sul (5%), e exportado, no mesmo ano, 278 t do produto principalmente para a Alemanha (98%) e Argentina (2%) (MDIC, 2013).

As fontes de energia renováveis, em geração de energia, assim como transporte, aumentaram em 2013, o que atingiu o recorde de 2,7% do consumo mundial de energia, acima dos 0,8% de uma década atrás (BP, 2014). A energia renovável utilizada na geração de energia cresceu 16,3% e representam um recorde de 5,3% da geração de energia global. A China registrou o maior crescimento, seguido dos EUA. A energia eólica foi responsável por mais da metade do crescimento de energia renovável (+20,7%) e a geração de energia solar cresceu ainda mais rapidamente (+33%), mas a partir de uma base menor. A produção de

biocombustíveis cresceu a níveis abaixo da média 6,1%, impulsionados pelos aumentos nos dois maiores produtores, Brasil (+16,8%) e os EUA (+4,6%). O Brasil produziu em 2013, 27,8 milhões de m<sup>3</sup> de etanol anidro e hidratado (cerca da metade deste valor só no Estado de São Paulo), um aumento de 18,13% em relação a 2012 (ANP, 2014). No mesmo ano, o país produziu quase 3 bilhões de m<sup>3</sup> de biodiesel, a partir de matérias-primas de óleos de soja (2,2 milhões de m<sup>3</sup>), de algodão (64,3 mil m<sup>3</sup>), da gordura animal (578,4 mil m<sup>3</sup>) e outros materiais graxos (46,8 mil m<sup>3</sup>).

Há uma dificuldade, em termos de dados estatísticos, sobre as reservas e produção de calcário para fins agrícolas, devido à falta de divulgação pelos países e por falta de caracterização da produção pela não diferenciação de outras rochas, comumente consideradas como calcário. Mas, segundo o *Mineral Commodity Summaries* (USGS, 2013), as reservas mundiais são suficientes para suprir a demanda por muitos anos. As rochas carbonáticas, compostas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio, podem ser utilizadas para corrigir a acidez de solos, com reservas, no Brasil, bem distribuídas por todos os estados, ativas há muito tempo, com destaque para os Estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná e Goiás, que detêm juntos, quase 60% das reservas de todo o país. No ano de 2012, o Brasil produziu 33.077 Mt de calcário destinado para correção de solos (DNPM, 2013) e denotou um crescimento de 15,2% em relação ao ano anterior. No mesmo ano, o consumo interno do produto apresentou a maior taxa dos últimos 20 anos, entretanto, não acompanha a evolução do consumo de fertilizantes agrícolas, os quais são intimamente relacionados, pois onde o solo está devidamente corrigido há um melhor rendimento potencial do fertilizante empregado. Com isso, o desperdício com fertilizantes aumenta pela não utilização de uma relação calcário/fertilizante adequada. Um dos entraves constatados, apesar do preço considerado acessível, é o preço do frete para a aquisição pelos produtores, determinado pela distância da região produtora.

A produção de fosfato em 2012 superou a de 2011 com 210.000 t, quando a China foi o seu maior produtor mundial (42,4%), o Brasil o quinto maior produtor, atrás de EUA, Marrocos e Rússia. Estes países, juntos com Índia e União Europeia, consomem 70% dos fertilizantes no mundo (USGS; DNPM, 2013). No mundo, no ano de 2012, produziu-se do grande total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44.248.600 t, com um consumo de 41.086.200 t (IFA, 2014). O Brasil praticamente consegue atender sua demanda interna, no entanto, pela ausência de outros insumos, como enxofre e amônia, necessários para a produção de produtos intermediários, importa significativas quantidades, principalmente do Marrocos, por intermédio do Peru, com quantidades superiores a 500 mil toneladas desses países, com um consumo total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 4.325.400 t e produção de 2.183.000 t, importação de 2.304.300 t e exportação de 110.400 t (IFA 2014). O consumo interno aumentou 4,3% em 2012 com uma ligeira queda na produção e na importação de fertilizantes intermediários, o que indicou a utilização de estoque.

Em 2012, o Canadá (47,5%) e a Rússia (35,6%) foram os primeiros colocados da produção mundial, com soma de cerca de 45% do total de potássio fertilizante produzido (DNPM, 2013), com uma produção total de K<sub>2</sub>O de 33.846.000 t e um consumo de 28.748.000 t (IFA, 2014). O Brasil ficou na décima primeira posição em termos de reservas e em décimo em relação à produção mundial. A produção nacional está praticamente restrita a duas regiões, nos Estados do Sergipe e no Amazonas, onde em 2012, produziu-se 548.500 t de KCl, que correspondeu a 346.500 t de K<sub>2</sub>O equivalente. Em virtude de pequena produção interna, comparada à grande demanda interna, o país é um grande importador de potássio fertilizante, com os principais fornecedores em 2012 o Canadá (31,18%), Bielo-Rússia (21,96%), a Alemanha (18,93%), Israel (10,73%) e a Rússia (9,24%). No mesmo ano, o Brasil importou 4.225.894 t, produziu 346.509 t e consumiu 4.565.025 t de K<sub>2</sub>O equivalente. Exportou para países sul-americanos 7.313 t de K<sub>2</sub>O equivalente. A principal região produtora

de potássio fertilizante no Brasil fica na região do Estado do Sergipe, com vida útil estimada por volta do ano de 2050.

As formulações NPK são largamente empregadas na agricultura mundial, com produção de 191.537.500 t, consumo de 178.891.100 t, volume de exportações de 76.234.800 t e volume de importações de 75.194.600 t em todo o mundo. No Brasil, a produção no mesmo ano foi de 3.292.500 t, consumo de 12.604.400 t, importação e exportação de 9.595.800 t e 220.000 t, respectivamente (IFA, 2014).

Em um contexto de preocupações com os impactos ambientais e sustentabilidade, muitas das fontes de obtenção de minerais para a agricultura, podem provocar desequilíbrios e uma demasiada demanda por energia, com a conversão de substâncias brutas em elementos minerais mais solúveis e propícios para o solo e/ou para a cultura. Este gasto energético causa impactos negativos para os recursos naturais, que evidencia o uso e a exploração cuidadosa de tais recursos para um desenvolvimento equilibrado entre o que se gasta e o que se produz. Inúmeras maneiras de melhorar a eficiência energética têm sido pesquisadas nos últimos anos, com vistas para um melhor aproveitamento de energia com menor dano ambiental.

O setor de transporte consome aproximadamente 20% da energia mundial produzida (ZHANG, 2011), desta forma, a oportunidade de reutilizar ou economizar o transporte de adubos por longas distâncias pode contribuir para uma mitigação de emissão de GEEs, o que otimiza o balanço energético o setor agropecuário.

Energia é a única moeda universal e é compartimentada em diferentes tipos de fontes. As fontes de energia primária (natural) são convertidas em fontes secundárias para uso em diversas formas de energia como mecânica, térmica, química e elétrica. As energias primárias incluem fontes renováveis, como a energia solar e biomassa, e não-renováveis, como óleo cru, carvão mineral e gás natural.

Com as constantes buscas por fontes de energias renováveis e reaproveitamento de fontes energéticas, um processo aliado que é utilizado é denominado pirólise ou calcinação, pois é um método eficiente para decomposição de biomassa, quando está em um ambiente de quase ou total ausência de oxigênio. A pirólise constitui uma reação de decomposição com o auxílio do calor, onde na indústria, essa reação é chamada calcinação. O calcário agrícola, constituído principalmente por  $\text{CaCO}_3$ , quando aquecido, é transformado em  $\text{CaO}$  e  $\text{CO}_2$ . A pirólise rápida ocorre em temperaturas moderadas (450 a 550 °C) e a biomassa apresenta baixa granulometria, já a pirólise lenta, ou carbonização, ocorre em baixas temperaturas (400 a 450 °C) e suas partículas de biomassa são grandes. A pirólise propicia a produção de produtos como o bio-óleo (alcatrão pirólico) e o carvão vegetal, que servem como fontes alternativas de combustíveis. O bio-óleo pode ser usado no lugar do petróleo e do carvão mineral, é uma mistura orgânica complexa, com vantagem de produzir menor quantidade de cinzas e não conter metais pesados, nem liberar enxofre na sua queima. Com a pirólise de resíduos vegetais como a madeira, é produzido o carvão vegetal, recurso energético renovável e mais barato. O lixo urbano também pode ser submetido à pirólise, que pode contribuir com a redução do mesmo concomitantemente com a produção de fontes de energia.

### **2.3 A produção de cinzas e sua utilização como fonte de nutrientes.**

A incineração de resíduos de culturas causa a perda de nitrogênio e grande parte do enxofre para o ar através da oxidação. Nutrientes metálicos são convertidos em óxidos e frações menores de formas de carbonato. O conhecimento das alterações químicas nas formas de nutrientes durante o processo de queima é limitado, especialmente para micronutrientes. A cinza é uma boa fonte de K, P, Ca e Mg, assim como de Cu, Zn, Mn, Na e Si (BAZU et al., 2009). A cinza pode ter um efeito de adicionar sais e também de neutralizar o pH da solução

do solo, mas o seu principal efeito é aumentar o fornecimento de nutrientes (ABDUL et al., 2004; DU PREEZ et al., 2001).

A queima de resíduos orgânicos em agricultura itinerante (corte-queima) resulta em um aumento do conteúdo total da maioria dos micronutrientes catiônicos no solo (ABDUL et al., 2004), enquanto que as concentrações de Fe, Cu e Zn disponíveis nas plantas avaliadas diminuem e os de Mn aumentam (VENKATESH et al., 2003). Após 11-12 anos de preparo e manejo diferentes de resíduos em um Plintossolo na África do Sul, os níveis de Zn disponível aumentaram no tratamento com queima de palha *versus* o tratamento sem a queima, assim como sob sistema de preparo do solo conservacionista *versus* convencional (DU PREEZ et al., 2001). A queima pode ser uma forma rápida de liberação de nutrientes, mas também pode resultar em perdas por volatilização de N, S e, em parte, de P ou K. O N em matéria orgânica é particularmente mais sensível à queima, devido à sua baixa temperatura de volatilização (200 °C), mas o N inorgânico tende a aumentar e tornar-se mais disponível após a queima na superfície do solo, devido à diminuição da imobilização microbiana.

Em situações em que a imobilização microbiana de nutrientes liberados de resíduos de alta razão C/nutriente é rápida, diminui a sua disponibilidade em curto prazo. A redução na imobilização de nutrientes na sequência de queimadas pode ser útil para as culturas. Além disso, uma parte significativa de P e K permanece nas cinzas, porque estes nutrientes são volatilizados apenas a temperaturas muito altas (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004). Deste modo, a magnitude de perda de nutrientes durante a queima é influenciada pela quantidade do resíduo queimado e pela intensidade da incineração. Os nutrientes deixados nas cinzas são altamente solúveis e os tornam facilmente disponíveis para a cultura, porém, passíveis de lixiviação, porque a queima diminui o teor de matéria orgânica e a capacidade de troca da superfície do solo (RENGEL, 2007). A queima ou remoção de resíduos pode diminuir a atividade microbiana (medida como respiração basal) em comparação com solos onde resíduos vegetais são devolvidos ao solo, devido à rápida remoção de substratos. Os resíduos restantes podem não ser uma fonte de energia para micro-organismos pela recalcitrância química aumentada (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004).

Informações sobre o efeito das cinzas de culturas no teor de matéria orgânica e qualidade do solo são escassas. Efeitos variáveis são relatados dependendo do grau em que os resíduos são queimados, da temperatura e do tempo de queima, além da profundidade de amostragem e práticas agrícolas (RENGEL, 2007). Uma das razões das divergências pode ser atribuída à queima incompleta, deixando para trás formas carbonizadas e relativamente recalcitrantes de C que são menores fontes de energia para os micro-organismos do que material vegetal fresco ou biologicamente decomposto (RENGEL, 2007). No entanto, por serem biologicamente e quimicamente estáveis, os resíduos queimados podem não constituir uma reserva de C no solo e alterar assim a qualidade mais do que a quantidade de matéria orgânica no solo.

#### **2.4 As cinzas de capim-elefante e seu potencial como fonte de energia renovável.**

A biomassa pode ser transformada em diversas formas energéticas, como calor, trabalho e eletricidade, esta última, principalmente por meio do processo de gaseificação. As usinas termoeletricas podem ser supridas por biomassa, principalmente no Brasil que dispõe de grandes extensões de terras, pelo cultivo de determinadas plantas selecionadas com alto potencial de produção. O capim-elefante é uma delas.

As espécies herbáceas perenes, como o capim-elefante, apresentam características fisiológicas com alta eficiência no processo de conversão de energia solar em biomassa, através da fotossíntese. Possuem o sistema radicular extenso e profundo, utilizam racionalmente água e nutrientes, geralmente com ciclo fotossintético C<sub>4</sub>, onde, de acordo com

determinadas condições, são 40% mais eficientes do que as com ciclo C<sub>3</sub> (PIMENTEL, 1998; 2004). O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma planta originária da África subtropical que foi descoberto em 1905 pelo Coronel Napier. A cultura chegou ao Brasil nos anos de 1920 e se encontra hoje adaptada às cinco regiões do país. Essa gramínea representa uma fonte importante de alimento para a criação de gado, especialmente para a alimentação do rebanho produtor de leite.

Pesquisas mostram que a produção anual de biomassa seca do capim-elefante pode superar 100 Mg ha<sup>-1</sup>, desde que genótipos eficientes sejam usados e condições edafoclimáticas favoráveis sejam garantidas (URQUIAGA et al., 2006). O interesse energético por essa cultura foi recentemente despertado por sua alta produtividade. A biomassa do capim elefante pode ser utilizada para queima direta, gaseificação e produção de carvão vegetal, com rendimentos de energia diferenciada para cada uso. Este capim, quando adequadamente cultivado pode produzir ao redor de 30 Mg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (MORAIS, 2008; QUESADA, 2005). Essa espécie, fisiologicamente uma planta de metabolismo C<sub>4</sub>, possui alta eficiência fotossintética e na utilização de nutrientes, como nitrogênio, e necessita de apenas a metade da água para se desenvolver em relação às C<sub>3</sub>, além de serem até 40% mais eficazes na produção de biomassa. Possui crescimento rápido e sua colheita pode ser mecanizada, mas alguns genótipos são de baixa qualidade forrageira, cultivados pela sua rusticidade e adaptação às mais diferentes condições edafoclimáticas, com elevado volume de produção. Em condições controladas, o potencial de rendimento médio de matéria seca de variedades como Gramafante, Cameroon, BAG, CNPGL, entre outros, superam 40 Mg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o dobro da biomassa média produzida pela cultura do Eucalipto (MORAIS et al., 2007). Isso confere ao capim-elefante uma elevada extração de nutrientes, principalmente macronutrientes, situação acentuada quando é exportada toda biomassa produzida (FLORES, 2009). A produtividade das pastagens brasileiras, além de baixa, é marcadamente estacional, com os nutrientes nitrogênio e o fósforo os elementos que mais limitam a produção em solos ácidos de baixa fertilidade. O potássio é outro nutriente demandado em altas quantidades por esta cultura (MORAIS, 2008).

O capim-elefante apresenta um balanço energético muito favorável na produção de energia. Zanetti et al. (2010), mostraram que sob condições típicas do sudeste brasileiro, o balanço de energia total, cultivados os genótipos Cameroon e Bag 02, apresentou a ordem de 1:39,2, onde uma unidade de energia fóssil investida na sua produção resultou em quase 40 unidades de energia renovável na forma de biomassa seca, que resultam em menores emissões de cerca de 195 kg de CO<sub>2</sub> para cada tonelada de cerâmica produzida.

O poder calorífico do capim-elefante pode assumir valores variados de acordo com os genótipos e com a parte da planta utilizada (colmo e/ou folhas), entre 15 e 20 kJ kg<sup>-1</sup> (ZANETTI, 2010).

O capim-elefante pode ser uma alternativa bem sucedida, comparado com a lenha de espécies florestais, como o eucalipto. Em termos de quantidades de biomassa seca acumulada por hectare por ano, pode superar o eucalipto, já que a acumulação de carbono pelo capim-elefante pode chegar aos níveis próximos de 12,5 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto o eucalipto fica em torno de 10 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (YOSHIDA, 2008). Porém, o capim-elefante, mesmo com a capacidade de produzir anualmente uma quantidade elevada de biomassa, contém uma excessiva umidade em sua composição, o que causa problemas na conversão em energia, que pode elevar o custo de produção. O eucalipto tem um custo de implantação diluído nos anos de produção, devido à capacidade de gerar brotos vigorosos quando conduzidos em talhadia.

O processo de calcinação se faz por um tratamento de remoção da água, CO<sub>2</sub> e de outros gases “ligados fortemente” quimicamente a uma substância, tipicamente hidratos e carbonatos, que configura um processo rigorosamente endotérmico para eliminar gases, diminuir o volume da carga ou evitar consumo oneroso de combustível. As temperaturas de

calcinação variam e podem superar 1000°C em alto-fornos industriais, como na queima de biomassa para variados fins. A calcinação do material vegetal leva a decomposição da matéria orgânica e como resíduo restam apenas as cinzas, que possuem em sua composição majoritária metais, nutrientes essenciais às plantas (ALMEIDA, 2002).

Diante disso, a manutenção de quantidades de nutrientes que não são exportados do campo ou que pudessem minimizar o incremento de mais insumos, é uma vertente significativa na agricultura atual.

De acordo com a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) o capim-elefante representa uma alternativa de queima para quem pensa no futuro e preocupa-se com o desenvolvimento sustentável de suas fábricas associadas, além de levar em consideração os aspectos microeconômicos, como a geração de novas oportunidades de emprego, de renda e de ações empresariais voltadas à responsabilidade social. Mais de 95% das indústrias neste segmento utiliza combustível a base de biomassa. Ao analisar a questão energética, há a busca pela redução do consumo energético. Segundo a ANICER, ao incluir o preparo da terra, o plantio, a colheita e a secagem, o custo da tonelada de massa seca do capim-elefante é cerca de R\$ 26,00, já para o eucalipto, o custo vai para R\$ 125,00 por tonelada colocada na fábrica, considerado também nas análises a produtividade alcançada pelo capim-elefante com uma menor área plantada. Outra vantagem é o poder calorífico do capim-elefante, quando comparado com cavacos ou resíduos de madeira.

O tempo de retorno do investimento é menor, onde com o eucalipto a espera mínima chega a quatro anos e com o capim-elefante o primeiro corte acontece com 120 a 150 dias após o plantio. Quando adequadamente cultivado pode ter produtividade ao redor de 30 Mg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (MORAIS, 2008; QUESADA, 2005).

Não é necessária nenhuma licença especial para a produção de capim-elefante. Preparado o terreno, é preciso ter atenção na escolha de mudas corretas e que tenham origem confiável. Para queima com capim-elefante não é necessário nenhum maquinário especial, somente aqueles que tradicionalmente são usados para biomassa nas fábricas. Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso e São Paulo despontam como as primeiras localidades em que a cultura do capim-elefante já é inserido no setor (ANICER).

Os preços de outras fontes de energia, como pó de serra ou provenientes de fontes não renováveis, como o carvão mineral, ficaram muito altos ultimamente, especialmente pela necessidade de transporte, que além de encarecer o produto se torna mais um agente poluidor. A soma desses fatores tem motivado o setor industrial a procurar um produto mais barato e que favoreça o meio ambiente, enquadramento ideal para do capim-elefante neste contexto. Os ceramistas interessados no capim-elefante têm mais um motivo para se animar. A inserção do combustível nas fábricas pode garantir a venda de créditos de carbono.

As atividades industriais que mais produzem cinzas são as pertencentes ao setor cerâmico (ANICER), com a utilização da biomassa proveniente de diferentes tipos de biomassa, como eucalipto, serragem da indústria madeireira e, recentemente, o capim-elefante, para produção de energia térmica em seus fornos. O destino destes resíduos, na maioria dos casos, são aterros sanitários, ou seja, uma medida dispendiosa para a própria indústria e potencialmente prejudicial ao meio ambiente.

Com a aplicação de cinzas provenientes da indústria cerâmica em substrato para produção de mudas, com e sem uso de calcário, mudas de *Psidium guajava* apresentaram resultados benéficos para a fertilidade do solo e na nutrição das plantas (PRADO et al., 2002). As cinzas alteraram as características químicas do solo em ambos os tratamentos, com e sem calcário, com efeito positivo no pH e na concentração de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> (acidez potencial) no solo, apresentou também acréscimos nas concentrações de Ca e Mg trocáveis, saturação por bases (SB) e V%. As cinzas não provêm de um material de alto grau de pureza, portanto, pode-se inferir que existam bases químicas ligadas ao Ca e Mg pouco efetivas na neutralização da

acidez do solo, o que pode subestimar as doses adequadas à serem aplicadas, de acordo com as características e condições do solo (PRADO et al., 2002), além disso, as mudas com a aplicação de cinzas apresentaram maior vigor. Com utilização de cinzas provenientes da queima de madeira, doses crescentes de saturações por bases promovidas pelas cinzas, para uso como corretivo em Argissolo com pH 4,3 inicialmente foram obtidas por Campanharo (2008). Concluiu-se que as concentrações de  $Al^{3+}$  e  $H^+ + Al^{3+}$  decresceram enquanto que a SB, a CTC e V% tiveram acréscimos após sua aplicação, da mesma forma, os teores de Ca, Mg e K aumentaram juntamente com o pH ( $> 6,5$ ) com crescentes doses de cinzas no solo. O teor de  $NO_3^-$  aumentou com o aumento do pH, provavelmente devido à atividade bacteriana, que exigem pH acima de 5,0. Devido à liberação de carbonatos pela reação das cinzas no solo e pelo teor de bases capazes de neutralizar a acidez do solo, o pH se elevou. Com dois tipos de resíduos da indústria florestal avaliou-se o seu potencial fertilizante em plantas de azevém com doses crescentes de aplicação no solo em experimento em vasos (HORTA et al., 2010). Os materiais utilizados foram cinzas provenientes da incineração de biomassa florestal e da caustificação da pasta de papel.

## 2.5 Fertilidade do solo e a contribuição das cinzas.

O solo é um corpo natural, resultante do intemperismo das rochas e que desempenha uma série de funções relacionadas com o crescimento das plantas, que permite, sob adequadas condições, o crescimento vegetal. Um solo em suas condições naturais apresenta equilíbrio dinâmico e possui resistência a mudanças por ações antrópicas, mas pode ter este equilíbrio alterado quando mal manejado ou usado continuamente, que leva à preocupação socioambiental e econômica em razão da crescente pressão pelo uso do solo e suas consequências para a humanidade (LOPES & GUILHERME, 2007).

Para as plantas, o solo serve como suporte, favorece o crescimento de suas raízes, permite trocas gasosas que viabiliza seu metabolismo, dispõe água e nutrientes, assim como para os organismos da fauna e flora presentes no habitat. Portanto, o bom manejo do solo é de fundamental importância para as diversas reações e transformações de incorporação, decomposição e mineralização de resíduos vegetais e animais (MEURER, 2007). As argilas minerais e matéria orgânica são responsáveis pelas trocas iônicas do solo, adsorção de íons da solução do solo e exerce uma “filragem” da água percolada pelo perfil, da superfície do solo até o lençol freático, que promove modificações em seus horizontes e caracterizam diferentes propriedades físicas e químicas com o tempo. Fertilizantes, corretivos e resíduos, naturais ou resultantes de atividades antrópicas, são depositados sobre a superfície do solo e/ou nele incorporados, sofrem reações e transformações, que modificam suas propriedades e disponibilizam os nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal e sobrevivência da biota presente no agroecossistema. Isto causa um efeito cíclico de água e nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera.

O uso intensivo e irracional do solo pode resultar em diminuição de sua qualidade, com isso, é preciso estabelecer uma estratégia de uso do solo que respeite sua capacidade de oferta de recursos, manejando-o de modo a mantê-lo ou melhorá-lo, para seu uso sustentável. As atividades agrícolas produzem resíduos que devem ser aplicados, com o objetivo de manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo. Adicionalmente, resíduos sólidos ou líquidos com alta percentagem de matéria orgânica são produzidos nos centros urbanos (lixo, esgoto, restos industriais, entre outros), que, após serem tratados, podem ser incorporados ao solo (MEURER, 2007).

A calagem reduz a acidez do solo, como no caso de solos tropicais, aumenta a CTC (com o surgimento de cargas negativas dependentes de pH), a saturação por bases, a disponibilidade de nutrientes e a atividade da biota do solo. Com as reações o pH é elevado,

Ca e Mg são fornecidos, os efeitos tóxicos de alguns elementos são diminuídos (Al, Mn e Fe), a fixação do P é diminuída, a disponibilidade de nutrientes é aumentada (N, P, K, Ca, Mg, S e Mo), a eficiência das fertilizações aumenta. Com isso a atividade dos microrganismos é favorecida e os atributos físico-químicos do solo melhoram.

O gesso agrícola pode ser incorporado como condicionante para eliminação de barreiras químicas ao crescimento do sistema radicular das plantas, como em casos de alta concentração de  $Al^{3+}$  abaixo da camada arável do solo.

Os fertilizantes industrializados repõem os nutrientes retirados pelas culturas, elevam a sua disponibilidade e ajustam seus níveis no solo. Em 2012, segundo a Associação Nacional (ANDA), foram entregues ao consumidor final 29.537.006 toneladas de fertilizantes (4,28% a mais que 2011 e 20,5% a mais que 2010).

## 2.6 Nutrição mineral e capim-elefante.

As culturas energéticas utilizadas como matérias-primas têm como desafio a redução dos níveis de resíduos com elementos como o Cl, o Ca, o Si e o N, assim como o conteúdo de umidade. Um alto teor de N na biomassa, além do valor financeiro empregado na adubação, pode gerar gases poluentes ( $NO_x$ ) no processo de combustão. Níveis elevados de Ca e Cl acarretam problemas nas instalações por promoverem a corrosão pelas substâncias químicas formadas na queima. Já o Si pode se tornar um agente abrasivo. A umidade afeta a perecibilidade da biomassa e os gastos com práticas para sua secagem.

O capim-elefante é uma planta que se beneficia da fixação biológica de nitrogênio (FBN), bactérias diazotróficas do gênero *Herbaspirillum* estão presentes nos tecidos das raízes, colmos e folhas e podem fornecer até 50% do N necessário para a planta (MORAIS et al., 2009).

Possui alta capacidade de extrair nutrientes, principalmente os macronutrientes, o que torna interessante o retorno das cinzas ao próprio local de cultivo. Dados de Quesada (2005) apontam a composição química inorgânica de quatro genótipos que variou em torno de 0,54 a 1,12 % para K, 0,32 a 0,54 % para Ca, 0,18 a 0,29 % para Mg, 0,08 a 0,19 % para P, com respectivos acúmulos de 310 kg de K, 41,4 kg de P, 79,2 kg de Mg, 167 kg de Ca e 121 kg de N  $ha^{-1}$ .

### *Genótipo Roxo*

Suas touceiras possuem formato semi-ereto, com cerca de 3,70 m de altura, caracteriza-se pela coloração roxa, com 0,2 de sistema radicular aéreo/colmo (XAVIER, 1995). Possuem pilosidade adaxial e pouca abaxial. Seu florescimento é intermediário e seu poder germinativo é muito baixo. Queiroz Filho et al. (1998), com cortes em intervalos de 60 dias, observaram produtividade de biomassa seca de 3,2 Mg  $ha^{-1}$  corte<sup>-1</sup>. Quesada et al. (2005) apresentou dados satisfatórios sobre a qualidade de sua biomassa, embora inferior aos outros cultivares estudados, como o Bag e Cameroon, posteriormente confirmado por Morais (2008), devido provavelmente ao menor potencial de perfilhamento. Leite et al. (2007) constatou um menor beneficiamento deste genótipo com o processo de FBN, em relação aos outros genótipos.

### *Genótipo Cameroon*

Possuem touceiras de formato ereto, podendo atingir 3 m de altura. Pilosidade apenas na face adaxial e seu florescimento é raro (XAVIER, 1995), com alta produtividade, com alta relação lâmina foliar/colmo (QUEIROZ FILHO, 1998). Muito difundido na área agropecuária, principalmente para alimentação de ruminantes. Este genótipo é um dos genótipos avaliados para o uso energético em diferentes condições edafoclimáticas no país

(QUESADA, 2005; MORAIS, 2008), com promissora produtividade e boas características como fonte de energia alternativa. Foi um dos genótipos que obtiveram maior rendimento de biomassa em solo baixa disponibilidade de N (ZANETTI, 2010).

#### *Genótipo CNPGL F06-3*

Foi desenvolvido no programa de melhoramento da espécie na EMBRAPA Gado de Leite. Em experimento na região de Campos dos Goytacazes, RJ, Daher et al. (2000) demonstraram superioridade de produção de biomassa seca, com maior diâmetro de colmo e maior capacidade de perfilhamento que outros clones. No mesmo estudo, identificou que a planta pode chegar a 2,05 m de altura, com diâmetro de 12,3 mm em média e número de 16 perfilhos por metro linear. Apresentou alto potencial na qualidade e na quantidade de biomassa seca para a finalidade de se obter energia alternativa (QUESADA, 2005; MORAIS, 2007; MORAIS, 2008). Este genótipo apresentou 52% de contribuição da FBN, uma importante característica de alta produtividade com poucos insumos (MORAIS, 2009). Foi um dos genótipos que obtiveram maior rendimento de biomassa em solo com baixa disponibilidade de N (ZANETTI, 2010).

#### *Genótipo Gramafante*

O genótipo é um híbrido resultante do cruzamento das espécies *Pennisetum purpureum* com *Paspalum* sp., obtido em 1965 pelo padre José B. Restrepo, na Colômbia (SACCHET et al. 1987, citado em OLIVEIRA, 2001). Em estudo realizado na região do Vale do São Francisco, foi constatado que possui grande capacidade de entouceiramento, com alto potencial produtivo (OLIVEIRA, 2001). Sua produtividade não diferiu estatisticamente com os genótipos Cameroon e Roxo, com alto rendimento de biomassa seca (QUEIROZ FILHO, 1998). Tem a característica de estabilidade, que favorece estudos com melhoramento (XAVIER, 1998). Possui alto potencial de produção e perfilhamento, atestados em alguns trabalhos na área de energia alternativa (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008).

#### *Genótipo Bag 02*

Agrega entre os genótipos, boas características de produtividade sob condições de baixa disponibilidade de N e estabilidade de produção (XAVIER, 1998), com rendimentos de biomassa seca acima de 25 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e composição favorável como agroenergético alternativo (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008).

## **CAPÍTULO I**

**UTILIZAÇÃO DE CINZAS PROVENIENTES DA QUEIMA DE BIOMASSA DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) COMO FONTE DE NUTRIENTES E CORRETIVO PARA SOLOS.**

## RESUMO

CRUZ, Luis Cláudio Jordão da. **Utilização de cinzas provenientes da queima de biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) como fonte de nutrientes e corretivo para solos.** 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A utilização do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) como fonte alternativa de energia de biomassa tem crescido nos últimos anos e é cada vez mais alvo de pesquisas pela sua alta capacidade de produção de matéria seca por unidade de área e de tempo. A planta é pertencente à família Poaceae e possui o metabolismo C<sub>4</sub>, com alta capacidade fotossintética, aproveitamento de água e extração de nutrientes do solo, principalmente o potássio, com produtividade responsiva a doses crescentes de adubações. Atualmente, com a crescente preocupação com as mudanças climáticas e o aquecimento global, novas fontes de energia limpa são vertentes para o desenvolvimento sustentável no ramo agroenergético, para a mitigação de emissões de GEE e menor consumo de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e derivados de petróleo. No processo de combustão da biomassa, há a liberação de compostos químicos voláteis para a atmosfera, como o CO<sub>2</sub>, além de formação de resíduos, denominado cinzas, com quantidades significativas de elementos químicos. A utilização das cinzas na agricultura pode contribuir com o processo de ciclagem de nutrientes com o seu reaproveitamento como fonte nutriente para o desenvolvimento vegetal ou até mesmo como produto para correção de solos ácidos. Desta forma, pode-se evitar o desperdício e o descarte inadequado de um resíduo que pode favorecer a produtividade. O objetivo destes experimentos foi investigar o potencial de cinzas de cinco genótipos de capim-elefante em fornecer nutrientes em solos de baixa fertilidade, além de avaliar seu potencial como corretivo de solo, comparando a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas em resposta de diferentes doses de cinzas e fertilizantes e corretivos convencionais. Foram conduzidos três experimentos em vasos que utilizaram as cinzas de 5 diferentes genótipos (Gramafante, Cameroon, BAG 02, CNPGL F06-3 e Roxo) com o cultivo de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) como planta indicadora em um Planossolo do município de Seropédica. Os experimentos em vasos que utilizaram a braquiária consistiram de tratamentos com doses das cinzas dos genótipos de capim-elefante, contrastando com doses de fertilizante mineral, dispostos em blocos casualizados em esquema fatorial 3x2+1 testemunha, com cinco repetições. O experimento foi colhido em seis ocasiões, com intervalos de 60 dias após o estabelecimento da biomassa de braquiária até completar-se um ano. Um outro experimento em vasos foi montado para avaliar o potencial das cinzas em comparação ao calcário agrícola como corretivo de solo em blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema de parcelas subdivididas com fatorial 2x2+1 controle na parcela, com dois níveis de correção e dois períodos de coleta. As cinzas de capim-elefante foram capazes de fornecer nutrientes para a braquiária, o que garantiu o desenvolvimento satisfatório e produção maior de biomassa quando comparado à adubação convencional. As propriedades químicas do solo sofreram modificações com a utilização das cinzas, mais expressivas em relação à adubação convencional, principalmente quanto à redução da acidez do solo.

**Palavras-chave:** biomassa, agroenergia, ciclagem de nutrientes.

## ABSTRACT

CRUZ, Luis Cláudio Jordão da. **Ashes use from elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass burning as a source of nutrients and soil corrective.** 66p. Dissertation (Master Science in Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The use of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) as an alternative source of biomass energy has grown in recent years and is increasingly the subject of research for their high capacity of dry matter production per unit area and time. The plant is owned by Poaceae family and has the C<sub>4</sub> metabolism, with high photosynthetic capacity, water use and extraction of soil nutrients, particularly potassium, with responsive productivity increasing doses of fertilizers. Today, with the growing concern over climate change and global warming, new sources of clean energy are aspects to sustainable development in the agro-energy sector, to mitigate greenhouse gas emissions and lower consumption of fossil fuels such as coal and derivatives oil. In the process of combustion of biomass, there is the release of volatile chemical compounds into the atmosphere, such as CO<sub>2</sub>, in addition to waste generation, called grays, with significant quantities of chemicals. The use of the ash in agriculture can contribute to nutrient cycling process with its reuse as a nutrient source for the plant development or even as a product to correct acidic soils. Thus, you can avoid waste and improper disposal of waste which can promote productivity. The purpose of these experiments was to investigate the potential of ash five elephant grass genotypes to provide nutrients in soils of low fertility, and to evaluate its potential as soil correctives, comparing the efficiency of use of nutrients by plants in response to different doses ash and conventional fertilizers and lime. Three experiments were conducted in vessels that used the ashes of 5 different genotypes (Gramafante, Cameroon, BAG 02, CNPGL F06-3 and Roxo) with brachiaria cultivation (*Brachiaria decumbens* Stapf.) As an indicator plant in a Seropédica's Planosol. Experiments in pots that used to brachiaria consisted of treatment with doses of the elephant grass's ashes genotypes, contrasting with doses of mineral fertilizer, arranged in randomized blocks in a factorial 3x2+1 control, with five replications. The experiment was harvested six times at intervals of 60 days after the establishment of biomass brachiaria until completion of one year. Another pot experiment was set up to assess the potential of gray compared to agricultural lime as soil amendments in a randomized block design with four replications in a split plot with factorial 2x2+1 control the plot, with two levels of correction and two collection periods. The elephant grass ashes were able to provide nutrients for brachiaria, which ensured the satisfactory development and increased biomass production as compared to conventional fertilization. The chemical properties of the soil have been altered with the use of the ash, particularly marked in relation to conventional fertilization, especially in reducing soil acidity.

**Key words:** Biomass, Bioenergy, nutrient cycling.

## 1. INTRODUÇÃO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é considerado uma planta com grande capacidade de extrair os nutrientes do solo, pois possui um sistema radicular profundo e muito ramificado. A sua alta produtividade de biomassa fez com que a cultura se tornasse interessante no setor agroenergético, para fornecer combustível sólido, alternativamente ao carvão, para queima e produção de calor. Quando utilizada para esta finalidade, o resíduo da queima que será retirado dos fornos é comumente chamado de cinza.

A cinza é um material heterogêneo, com granulometria variada, que possui grande quantidade de elementos químicos. No entanto esta composição dos elementos químicos dependerá do tipo de biomassa que foi incinerada, por exemplo se foi somente talos ou talos e folhas, bem como dos nutrientes extraídos pela planta, o que está diretamente correlacionado com o tipo e as características do solo em que a planta se desenvolveu. Outro fator que pode interferir é a temperatura alcançada pelo forno durante a queima desta biomassa. Com a possibilidade de aumento da utilização desta biomassa em fornos industriais, teremos a cinza do capim-elefante como um potencial subproduto que poderia retornar ao solo como um condicionador ou mesmo como uma fonte de nutrientes, tanto para o próprio plantio de capim-elefante como também para diferentes cultivos.

Torna-se assim importante estudos exploratórios que simulem as condições de fornos de queima de biomassa para obter materiais que possam ser caracterizados e avaliar os potenciais efeitos no solo e nutrição de plantas, antes de serem considerados como seguros ou indicados para aplicação no campo. Outro ponto importante seria identificar plantas que possam servir de indicadoras para estudar o efeito das cinzas aplicadas ao solo e seu possível efeito como condicionante ou fertilizante. Na literatura existem diferentes indicações mas para condições tropicais o gênero *Brachiaria* pode ser interessante para esta finalidade. Este gênero é atualmente conhecido taxonomicamente como gênero *Urochloa*. Devido a tal mudança, a espécie *B. decumbens* é agora denominada *Urochloa decumbens*. Entretanto, a nomenclatura *B. decumbens* foi utilizada neste trabalho por ser a mais conhecida e continuar sendo usada pelos pesquisadores da área. A *Brachiaria decumbens* Stapf é uma Poaceae originária da região dos Grandes Lagos, em Uganda na África. Foi introduzida no Brasil em 1960, onde se adaptou muito bem, principalmente em áreas de Cerrado. Esta planta foi utilizada neste trabalho por se adaptar satisfatoriamente na região onde foi montado o estudo, na baixada fluminense. Possui tolerância aos estresses abióticos como seca e fogo, ou níveis tóxicos de  $Al^{3+}$  no solo, com alta produtividade de sementes e perfilhamento rasteiro.

O objetivo deste estudo em condições controladas foi avaliar o comportamento de uma planta indicadora cultivada sob fertilização de adubo mineral comercial e as cinzas do capim-elefante, para avaliar a absorção e nutrientes e o potencial de contribuição das cinzas como corretivo de solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção e análise química das cinzas derivadas de cinco genótipos de *P. purpureum* para utilização nos experimentos em vasos.

A pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB), designada Embrapa Agrobiologia, localizada na Baixada Fluminense, no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro (22°49'S, 43°39'W). Foram avaliadas as cinzas provenientes de cinco genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.): Gramafante, CNPGL F06-3, Cameroon, Bag 02 e Roxo. O material vegetal foi colhido na área experimental denominada Terraço e transferido para a sede. Após secagem ao ar, foram picados e secos em estufa a temperatura de 65 °C até estabilização de seu peso. O material vegetal seco foi triturado em moinho de facas tipo Willey (peneiras de 2 mm), para facilitar a queima da biomassa e para diminuir o volume, para que coubesse uma maior quantidade dentro do forno. As amostras trituradas de cada genótipo foram pesadas após serem levadas a estufa de secagem novamente, pelo mesmo processo anteriormente citado, acondicionadas em cadinhos de porcelana com volumes de 300 mL e 150 mL, com tara previamente determinada. Foram feitas 10 repetições para cada genótipo, alternando o posicionamento dos cadinhos dentro do forno mufla e seus respectivos genótipos de capim-elefante para a determinação do percentual de cinzas. Determinaram-se os pesos referentes de cada amostra antes (peso da amostra vegetal seca) e após (peso residual das cinzas) a combustão da biomassa, incinerada em forno mufla elétrico laboratorial (Linn® Elektro Therm) à 800 °C durante 12 horas nas dependências do Instituto de Agronomia da UFRRJ, com peso da biomassa aferida antes e após a incineração em balança semi-analítica (Marte-Shimadzu® modelo UX420H). Com este resultado foram obtidos o percentual de cinzas de cada genótipo.

A temperatura e o tempo estabelecidos para a incineração do material vegetal e a utilização das cinzas nos experimentos levaram em consideração as observações práticas das indústrias que utilizam biomassa. Na indústria de cerâmica, a temperatura média necessária para a fabricação de utensílios fica em torno de 800 °C, com variação de acordo com as condições do tipo de forno, manutenção, umidade da matéria-prima (tanto para combustão quanto para calcinação), entre outros. O tempo determinado foi além do que determina a legislação trabalhista brasileira, de oito horas de trabalho, mas, como o tempo de aquecimento e resfriamento dos fornos podem variar, ou mesmo, ter turnos sucessivos, foi estabelecido o período de 12 horas.

Para a utilização nos três experimentos em vasos, as cinzas dos cinco genótipos foram misturadas e homogeneizadas. Esta mistura de cinzas foi analisada no Laboratório da Embrapa Solos, para quantificação e identificação de todos os elementos químicos detectáveis presentes nas cinzas realizadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), que permite a observação do plasma no modo de configuração axial e radial, proporcionando mais sensibilidade para cada elemento, exceto para os elementos K e Na, que foram determinados por fotometria de chama.

O ICP-OES é uma das técnicas mais versáteis para a determinação quantitativa de metais, inclusive em quantidades traço, que consiste basicamente na ionização dos elementos a serem analisados pelo plasma indutivo de argônio à temperatura entre 6000 e 11000 °C. Este plasma é uma nuvem de gás parcialmente ionizado, que atomiza o analito e o excita eletronicamente e, ao decair para o estado fundamental, emite radiações características em determinados comprimentos de ondas. Entre as vantagens da técnica, se destaca a alta sensibilidade e a capacidade de análise simultânea e sequencial de múltiplos elementos

(SKOOG, 2006). A fotometria de chama consiste na solubilização do potássio e do sódio em água e medida da sua emissão em fotômetro de chama devidamente calibrado pelo método com solução de HCl 0,05 N (NOGUEIRA e SOUZA, 2005). Estas análises objetivaram identificar o maior número de elementos possíveis, contaminantes ou elementos tóxicos mesmo em baixas concentrações. Para o estudo o objetivo foi trabalhar com os macronutrientes que as plantas utilizam em maior abundância e que estão presente nas cinzas, como Ca, Mg, K e P.

As quantidades de macronutrientes foram estimadas por meio de nova análise no Laboratório de Química Agrícola (LQA) da Embrapa Agrobiologia. Foram determinadas as quantidades de fósforo e potássio. Os resultados indicaram as quantidades de 15,6 g de P kg<sup>-1</sup> e 37,75 g de K kg<sup>-1</sup> de cinzas. Com estes resultados foram realizados os cálculos para adubação.

### **2.1.1 Análises de Cálcio e Magnésio.**

As análises de Ca e Mg foram feitas com 0,5 mL de amostra em 9,5 mL de solução de cloreto de lantânio para a diluição. Após o procedimento de diluição, a leitura foi feita em aparelho de absorção atômica (NOGUEIRA e SOUZA, 2005).

### **2.1.2 Análises de Fósforo.**

Para P foi retirada uma alíquota de amostra de 5 mL colocadas em um vidro de diluição com 30 mg de ácido bórico, com a adição de 10 mL de solução de molibdato de amônio diluído, com repouso de 30 min. Com o espectrofotômetro ligado a 660 nm procedeu-se a leitura dos padrões, com verificação da curva de calibração e em seguida com as amostras (NOGUEIRA e SOUZA, 2005).

### **2.1.3 Análises de Potássio.**

Com o K foi transferido 0,5 mL da amostra para um vidro de diluição, acrescentando-se 9,5 mL de água deionizada, procedeu-se a leitura das amostras em fotômetro de chama com a leitura de K (NOGUEIRA e SOUZA, 2005).

### **2.1.4 Análise do pH do solo.**

Medida eletroquímica da concentração efetiva de íons H<sup>+</sup> na solução do solo por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água de 1:2,5. Foram colocados 10 cm<sup>3</sup> de TFSA (solo) em copo plástico de 100 mL, com 25 mL de água destilada. Após agitação da solução e repouso de 1 h, agitou-se novamente e efetuou-se a leitura com a imersão do eletrodo (NOGUEIRA e SOUZA, 2005).

### **2.1.5 Análise de Al<sup>3+</sup> e Acidez Potencial**

Para o Al<sup>3+</sup>, método volumétrico por titulação com NaOH, após extração do Al<sup>3+</sup> do solo por KCl 1 M. Extrato de 25 mL pipetado em erlenmeyer de 125 mL com 3 gotas de azul de bromotimol a 1 g L<sup>-1</sup>, titulado com solução de NaOH 0,025 M. Extração da acidez potencial com solução de acetato de cálcio e titulação alcalimétrica do extrato. A extração do H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> pelo acetato de cálcio baseado na propriedade tampão do sal.

## 2.2 Implantação e condução de experimentos em vasos com cultivo de planta indicadora.

Os dois experimentos em vasos foram desenvolvidos na da Embrapa Agrobiologia. Para a realização de cada experimento, o solo utilizado foi procedente de uma área onde predomina a Ordem Planossolo (EMBRAPA, 2009) localizada no campo experimental (Terraço) da Embrapa Agrobiologia. A profundidade de coleta foi até a profundidade de 20 cm e o solo foi seco ao ar em local coberto, peneirado com malha de 2 mm e enviado para análises após ter sido homogeneizado manualmente.

Nas duas ocasiões foram separadas duas amostras deste solo para realização da análise de fertilidade. Estas amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm (ABNT) e encaminhadas ao Laboratório de Química Agrícola (LQA) da Embrapa Agrobiologia.

O solo foi usado para preencher os vasos de plástico rígido com capacidade de volume de 0,0063 m<sup>3</sup>. Cada vaso foi preenchido com aproximadamente 5 kg do solo.

A planta utilizada para indicar a capacidade das cinzas em fornecer nutrientes em potencial equivalência à adubação mineral de alguns macronutrientes foi a *Brachiaria decumbens* Stapf.

Para cada vaso, o solo utilizado foi homogeneizado em sacos plásticos individuais após introdução dos fertilizantes e/ou das cinzas, com as quantidades especificadas conforme tabela 2. Foram colocadas 8 sementes de *Brachiaria decumbens* em cada vaso. Houve o desbaste após as plantas apresentarem o aparecimento de duas folhas, restando apenas 3 plantas por vaso. Houve irrigação periódica, visando manter o suprimento adequado de água.

Em cada experimento, as plantas de *B. decumbens* foram cultivadas por 360 dias. Foram feitas coletas de parte aérea, a partir da germinação, a cada 60 dias. A altura de corte adotada foi de 2 cm da superfície do solo. Após a última coleta, as raízes foram coletadas e lavadas para retirada do solo contido. A biomassa de raízes coletada foi seca em estufa de circulação forçada a 65 °C em sacos de papel até a estabilização de seu peso. Para as análises, a biomassa seca foi triturada em moinho de facas tipo Willey (2 mm) e analisadas no LQA da Embrapa Agrobiologia.

### 2.2.1 Avaliação da utilização das cinzas derivadas de capim-elefante como alternativa a utilização de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como fonte de potássio. EXPERIMENTO 1

Este experimento foi conduzido dentro de casa de vegetação. Os tratamentos foram diferentes doses, que foram definidas tendo como referência a adubação potássica, porque este foi o elemento em maior quantidade presente nas cinzas, conforme citado no item anterior.

Os cálculos para determinação das doses utilizadas neste experimento levaram em consideração os resultados de fertilidade do solo (tabela 1).

**Tabela 1:** Análise de solo utilizado para cultivo de *B. decumbens* na casa de vegetação (Experimento 1).

Solo	Al <sup>+3</sup>	Ca	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	Mg	V	K <sup>\</sup>	P	pH
Prof (cm)		-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		%	mg dm <sup>-3</sup>		unid
0-20	0,25	0,94	2,73	0,73	38	15,5	1,77	5,06

pH: potenciometria; Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>: titulação; Ca e Mg: absorção atômica; K: fotometria de chama; P: colorímetro. (Nogueira & Souza, 2005).

A descrição das doses utilizadas nos tratamentos encontra-se na tabela abaixo.

**Tabela 2:** Tratamentos e doses usadas no experimento em casa de vegetação com *B. decumbens* (Experimento 1).

Tratamento	Dose por vaso	Quantidade de adubo por vaso
1 testemunha	0 g K	0 g cinzas ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	1,24 g P	14,2 g SFS
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
2 cinzas 1,5	1,5 g K	39,74 g cinzas
	1,24 g P	7,1 g SFS
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
3 cinzas 3	3,0 g K	79,5 g cinzas
	1,24 g P <sup>(2)</sup>	P nas cinzas
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
4 cinzas 4,5	4,5 g K	119,21 g cinzas
	1,86 g P <sup>(1)</sup>	P nas cinzas
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
5 mineral 1,5	1,5 g K	3,35 g K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	1,24 g P	14,2 g SFS
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
6 mineral 3	3,0 g K	6,7 g K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	1,24 g P	14,2 g SFS
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
7 mineral 4,5	4,5 g K	10,04 g K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	1,24 g P	14,2 g SFS
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12

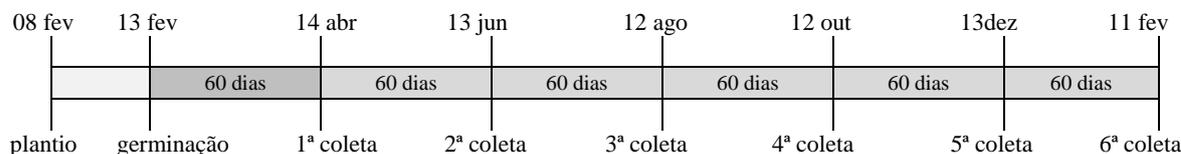
<sup>(1)</sup> A dosagem de P no tratamento 4 é alta pela adequação da quantidade de cinzas para a dosagem de K, contido nas cinzas.

<sup>(2)</sup> Os ajustes das dosagens de P para os outros tratamentos foram feitas baseados no resultado deste tratamento.

No tratamento testemunha (1) não foi aplicado fertilizante mineral potássico ou cinza no solo, 3 tratamentos (1,5, 3,0 e 4,5 mineral) receberam fertilizantes minerais potássicos e em outros 3 tratamentos (1,5, 3,0 e 4,5 cinzas) utilizou-se as cinzas levando em conta na sua composição as referidas dosagens de potássio. As doses dos tratamentos sob fertilização com adubo mineral potássico e com cinzas foram de 1,5 g K vaso<sup>-1</sup>, 3,0 g K vaso<sup>-1</sup> e 4,5 g K vaso<sup>-1</sup>. Para todos os tratamentos foram ajustados os mesmos níveis de adubação com fósforo, nitrogênio e com um composto de micronutrientes, exceto para o tratamento 4, onde os níveis das doses para o elemento fósforo ultrapassaram as doses dos demais tratamentos. Isto foi devido à necessidade de incorporar no solo do vaso a quantidade de cinzas ajustada para a dose de potássio, conseqüentemente fazendo os níveis de fósforo aumentar, por estar em quantidade significativa nas cinzas. Para adubação potássica foi utilizado sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), para adubação fosfatada foi utilizado Superfosfato Simples (SFS), para adubação nitrogenada foi utilizado Sulfato de Amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), parcelado com metade no plantio e outra metade 30 dias após a germinação, e para micronutrientes foi utilizado o composto FTE BR12, com suas respectivas dosagens calculadas (tabela 2).

A cada 30 dias foram realizadas adubações com (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, isto é, após cada coleta e entre uma coleta e outra, deste modo, proporcionando a averiguação do desenvolvimento da planta ao longo do tempo relacionado com o elemento químico alvo, o K.

A figura 3 apresenta o cronograma do experimento, com início em 8 de fevereiro de 2013, com última coleta um ano depois, em 11 de fevereiro de 2014.



**Figura 3:** Cronograma do experimento na casa de vegetação (Experimento 1).

## 2.2.2 Avaliação da utilização das cinzas derivadas de capim-elefante como alternativa a utilização de adubos minerais no fornecimento de macronutrientes. EXPERIMENTO 2

Com o intuito de avaliar o crescimento da espécie indicadora (*B. decumbens*) com quantidades proporcionais de nutrientes fornecidos pelas cinzas do capim-elefante e fertilizante mineral, foi feito outro ensaio parecido com o que foi feito em casa de vegetação, descrito para o experimento 1, mas na área externa da casa de vegetação, em campo aberto. Para isso, calculou-se a quantidade equitativa para cada nível de dosagem utilizada por macronutriente (tabela 4).

A análise do solo utilizado é apresentada na tabela 3 a seguir.

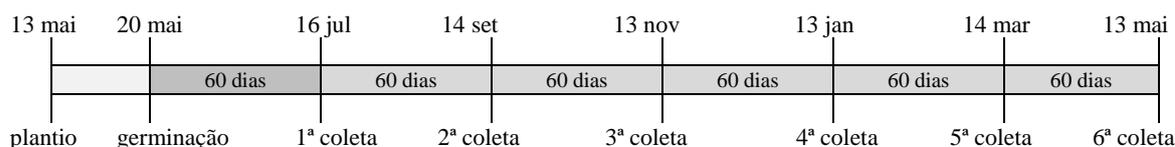
**Tabela 3:** Análise de solo utilizado para cultivo de *B. decumbens* no experimento 2.

Solo	Al <sup>+3</sup>	Ca	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	Mg	V	K <sup>+</sup>	P	pH
Prof (cm)	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%	mg dm <sup>-3</sup>		unid
0-20	0,16	0,49	1,74	0,14	28	20,0	2,46	5,1

pH: potenciometria; Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>: titulação; Ca e Mg: absorção atômica; K: fotometria de chama; P: colorímetro. (Nogueira & Souza, 2005).

Os cálculos para os tratamentos visaram suprir a planta indicadora com os mesmos níveis de nutrientes, em diferentes dosagens, em ambos os tratamentos, diferindo-se quanto à procedência, com a utilização das cinzas e com a utilização de adubo mineral.

O estudo iniciou-se em 13 de maio de 2013, com última coleta feita um ano depois, no dia 13 de maio de 2014, como mostra a figura 4.



**Figura 4:** Cronograma do experimento em vasos em área externa (Experimento 2).

Novamente foram tomados os níveis de potássio como parâmetro neste experimento, mas equilibradas as quantidades de nutrientes minerais proporcionadas pelas cinzas de capim-

elefante e ajustou-se com as mesmas quantidades dos fertilizantes comerciais. A quantidade utilizada para prosseguir com os cálculos foi de 0,75 g K vaso<sup>-1</sup>, para ambos os produtos (fertilizante mineral e cinzas). Desta forma, três tratamentos ficaram com 0,75 g K vaso<sup>-1</sup>, 1,50 g K vaso<sup>-1</sup>, e 2,25 g K vaso<sup>-1</sup>, proporcionados por cinzas, respectivamente, mais três com as mesmas quantidades, só que proporcionados por K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O Superfosfato Triplo (SFT) foi utilizado por ter maior quantidade de P e menor quantidade de Ca, facilitando o equilíbrio dos elementos. Por este motivo, também foi utilizado o calcário dolomítico (CD) e o MgO, referente aos elementos Ca e Mg, como mostra a tabela 4.

**Tabela 4:** Tratamentos com doses equitativas de nutrientes no experimento em vasos com *B. decumbens* (Experimento 2).

Tratamento	Dose por vaso	Quantidade de adubo por vaso
1 testemunha	0 g K	0 g cinzas ou K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	1 g P	3,5 g SFT
	0,5 g N	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
2 cinzas 0,75	0,75 g K	17 g cinzas
	1 g P / 0,67 g Ca	3,5 g SFT
	0,5 g N / 0,36 g Mg	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
3 cinzas 1,50	1,50 g K	34 g cinzas
	2 g P / 1,34 g Ca	7 g SFT
	0,5 g N / 0,72 g Mg	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
4 cinzas 2,25	2,25 g K	51 g cinzas
	3 g P / 2,01 g Ca	10,5 g SFT
	0,5 g N / 1,08 g Mg	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
5 mineral 0,75	0,75 g K	1,67 g K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	1 g P / 0,67 g Ca	5,12 g SFT + 2,6 g CD + 1 g MgO
	0,5 g N / 0,36 g Mg	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
6 mineral 1,50	1,50 g K	3,34 g K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	2 g P / 1,34 g Ca	10,24 g SFT + 5,2 g CD + 2 g MgO
	0,5 g N / 0,72 g Mg	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12
7 mineral 2,25	2,25 g K	5,01 g K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	3 g P / 2,01 g Ca	15,36 g SFT + 7,8 g CD + 3 g MgO
	0,5 g N / 1,08 g Mg	2,36 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	0,25 g micro	0,25 g FTE BR12

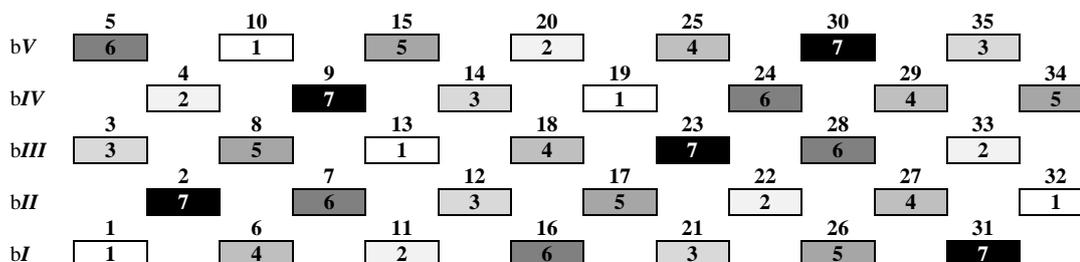
Como no experimento 1, a cada 30 dias foram realizadas adubações com (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, isto é, após cada coleta e entre uma coleta e outra. Foram feitas coletas de parte aérea, após germinação, a cada 60 dias, com altura de cortes a 2 cm do solo contido em cada vaso, e no final da sexta coleta, foi coletado as raízes por meio de lavagem do solo contido.

### 2.2.3 Delineamento experimental e tratamentos adotados nos experimentos 1 e 2.

Os experimentos 1 e 2 foram conduzidos de maneira semelhante, o primeiro dentro de casa de vegetação e o segundo na área externa, mas com a mesma distribuição dos vasos em cinco blocos.

O delineamento adotado foi o em blocos casualizados, com 5 repetições, em esquema de parcelas subdivididas com fatorial 2 x 3 + 1 controle na parcela. O fatorial correspondeu a dois níveis de fertilizantes (níveis com dosagens de K com o uso de cinzas e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, com

ajuste de P com superfosfato simples, para o experimento 1 e doses equitativas de macronutrientes com o uso de cinzas e adubo mineral convencional para o experimento 2) combinados em três dosagens (1,5; 3,0 e 4,5 g K vaso<sup>-1</sup> no experimento 1 e 0,75, 1,5 e 2,25 g K vaso<sup>-1</sup> no experimento 2) mais um controle absoluto relativo a ausência de fertilizante. Nas subparcelas foram avaliadas seis épocas de coleta dos dados (aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias após a germinação-DAG), totalizando 12 meses de cultivo nos vasos. A montagem dos experimentos obedeceu a disposição dos vasos conforme esquema mostrado na figura 5.



**Figura 5:** Esquema do experimento 1 e 2: números acima dos retângulos referem-se aos vasos e números dentro do retângulo referem-se aos tratamentos plantados com *B. decumbens* (1-controle; 2, 3 e 4 – cinzas; 5, 6 e 7-fertilizante comercial).

As variáveis analisadas foram biomassa seca (g vaso<sup>-1</sup>), teor de Ca, K, P, Mg (g vaso<sup>-1</sup>). Foi realizada a análise de variância por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011) e as médias entre os níveis de fertilizantes avaliados foram comparadas pelo teste F, a 5 % de probabilidade. Para os fatores dosagens e DAG foram avaliados modelos de regressão no ajuste dos dados, a 5 % de probabilidade.

### 2.3 Avaliação das cinzas da queima de biomassa de capim-elefante como corretivo de solo. EXPERIMENTO 3

Foram determinados os níveis de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> e o pH, além de macronutrientes (tabela 5). Para as avaliações dos tratamentos, foram utilizados 40 vasos de plástico rígido, com dimensões de 13 cm de altura e 5,25 cm de raio, preenchidos com 1,7 kg de solo.

**Tabela 5:** Análise de solo para utilização no experimento com cinzas de capim-elefante como corretivo de solo.

Prof. cm	pH unid	Al <sup>3+</sup> -----	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca -----	Mg -----	V %	P mg dm <sup>-3</sup>	K %	N %
0-20	5,8	0	1,24	0,57	0,20	39	7,16	17	0,03

Al<sup>3+</sup>-H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: titulação; Ca-Mg: absorção atômica; K: fotometria de chama; P: colorimétrico; pH: potenciometria (Nogueira & Souza, 2005).

Como corretivo comercial foi utilizado o Calcário Agrícola (Minercal<sup>®</sup>) com 36% de CaO e 12% de MgO e PRNT de 85,1%, com os cálculos de dosagens baseados no percentual de Ca contido neste produto. O produto alternativo, alvo de avaliação, foram as cinzas provenientes da queima de biomassa de capim-elefante, com suas análises realizadas no Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Embrapa Solos), localizado na cidade do Rio de Janeiro-RJ, constando os resultados das análises na tabela 6. Estas análises foram feitas para averiguar quais elementos, além dos macronutrientes, estão presentes nas cinzas de capim-elefante e não para os cálculos para dosagens utilizadas nos experimentos. Foram as mesmas cinzas utilizadas nos outros experimentos.

### 2.3.1 Tratamentos e delineamento experimental do experimento 3.

Como citado anteriormente, tomado como base para os cálculos para adubação dos tratamentos os níveis de Ca apresentados no produto comercial, adotaram-se dois níveis para correção: duas e quatro toneladas de calcário por hectare. As dosagens de cinzas foram equilibradas para os mesmos níveis apresentados no calcário utilizado nos outros tratamentos, de acordo com a quantidade de Ca encontrada em sua composição. Como as cinzas constituem um material heterogêneo, buscando o equilíbrio entre Ca e Mg, onde foi utilizado o produto comercial, adicionou-se óxido de magnésio (MgO) para o melhor ajuste com os níveis de cinzas. Dessa forma, nos tratamentos utilizando cinzas, foram adicionados ao solo 21,45 e 42,9 g de cinzas para as dosagens de 2 e 4t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Nos tratamentos utilizando o produto comercial, foram adicionados ao solo 2,04g calcário + 0,76g MgO e 4,07g calcário + 1,52g MgO para as dosagens de 2 e 4t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

O produto comercial possui como período de efeito esperado, 19 dias para as reações químicas exercerem a correção do solo, segundo dados do fabricante. Por isso os tratamentos foram coletados entre os períodos de 20 e 40 dias especificados.

O delineamento adotado foi o em blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema de parcelas subdivididas com fatorial 2 x 2 + 1 controle na parcela. O fatorial correspondeu a dois níveis de fertilizantes (calcário agrícola e cinzas de capim-elefante) combinados em duas dosagens (2 t ha<sup>-1</sup> e 4 t ha<sup>-1</sup>) mais um controle absoluto relativo a ausência de fertilizante. Nas subparcelas foram avaliadas duas épocas de coleta dos dados (aos 20 e 40 dias após a correção do solo).

As variáveis analisadas foram teores de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>, Ca, K, P, Mg (g vaso<sup>-1</sup>), pH (unidade) e teor de N (%). Foi realizada a análise de variância por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011) e as médias entre os níveis dos fatores avaliados foram comparadas pelo teste F, a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização das cinzas após incineração de cinco genótipos de *P. purpureum* em forno mufla.

A incineração de biomassa de capim-elefante dos cinco genótipos no forno mufla resultou em diferentes resultados na quantidade de cinzas restantes para cada um, mostrando que a queima e o dispêndio de energia térmica pode ser diferente entre cada genótipo. A média obtida dos genótipos Gramafante, Bag 02, CNPGL F06-3, Cameroon e Roxo, respectivamente foram 4,42%, 5,37%, 6,42%, 5,42% e 6,60% de cinzas, com uma média geral de 5,65% de cinzas, em relação à biomassa seca. Estatisticamente houve diferença entre todos os genótipos, menos entre Bag 02 e Cameroon, que foram iguais entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com as análises das cinzas homogeneizadas feitas na Embrapa Solos, pode-se constatar as seguintes quantidades de elementos conforme a tabela 6.

**Tabela 6:** Quantidade de elementos químicos nas cinzas de capim-elefante derivada de cinco genótipos.

Ca	Mg	P	K	N	C	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Al	B
g.kg <sup>-1</sup> cinza													
32,86	35,58	11,86	38,5	0,3	0,33	0,025	1,83	0,82	0,15	0,009	0,012	4,662	0,045

Na e K foram analisados por fotometria de chama e demais por espectrometria de emissão ótica com plasma individualmente acoplado (ICP).

As análises mostram que as cinzas de capim-elefante contêm quantidades dos elementos K, Mg, Ca e P, respectivamente. Estes elementos são macronutrientes essenciais ao desenvolvimento fisiológico de plantas, alguns dentre estes, promovem mudanças nas propriedades químicas do solo, como o pH, por exemplo, influenciando o crescimento, consequentemente, da produtividade.

#### 3.2 Acúmulo de biomassa de *B. decumbens* cultivados em vasos em casa de vegetação em resposta a utilização de cinzas e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como fontes de potássio. EXPERIMENTO 1.

No tratamento testemunha, após as duas primeiras coletas de biomassa não houve a supressão de nenhuma planta nos vasos, no entanto, a partir da terceira coleta (180 dias após germinação) houve a morte de todas as plantas neste tratamento. Em todos os tratamentos, da primeira à última coleta, ocorreu, em geral, o decréscimo no rendimento de biomassa, como pode-se observar na figura 6. Entretanto, este comportamento foi menos acentuado nos tratamentos com a utilização de cinzas como fonte de nutrientes, que por sinal, nas coletas entre 180 e 240 DAG, os tratamentos com doses de 3,0 e 4,5 g de K vaso<sup>-1</sup> proveniente das cinzas apresentaram um aumento na biomassa acumulada (tabela 7). Outro tratamento que também não durou até o fim do experimento foi o com a dose de 1,5 g de K vaso<sup>-1</sup> proveniente de adubo mineral.

Como o experimento foi conduzido em esquema fatorial com testemunha, houve a necessidade de utilizar as tabelas 7, 8 e 9, para se chegar a uma melhor interpretação dos resultados ao se observar a figura 6. Com isto, pode-se chegar a um melhor entendimento.

**Tabela 7:** Biomassa seca de parte aérea (P.A.), raiz e quantidade de macronutrientes extraídos de *B. decumbens* em seis coletas em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1).

Tratamentos		Dias após germinação						Méd.	Total (P.A.* )	Total Raiz
(g K vaso <sup>-1</sup> )		60	120	180	240	300	360			
n°	dose	biomassa seca (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	48,22c	14,24e	0d	0f	0e	0b	10,41f	62,46f	64,64d
2	1,5	85,71a	53,43b	39,98b	34,72c	25,35c	0,5b	39,95c	239,20c	295,7b
3	3,0	77,82b	68,72a	55,12a	63,69b	48,81b	79,15a	57,05b	393,30b	547,6a
4	4,5	76,69b	66,96a	59,54a	70,88a	58,76a	83,12a	60,48a	415,96a	495,9a
5	1,5	75,86b	32,19d	21,22c	16,67e	0e	0b	24,32e	145,94e	182,6c
6	3,0	82,17a	50,71b	25,40c	22,96d	15,59d	0b	32,81d	196,83d	198,9c
7	4,5	81,56a	40,39c	24,56c	23,56d	16,17d	0b	31,04d	186,24d	148,9c
n°	dose	K (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,144f	0,098e	0d	0b	0b	0b	0,040e	0,242e	0,009c
2	1,5	1,211e	0,330d	0,130d	0,114b	0,088b	0,003b	0,313d	1,876d	0,079c
3	3,0	1,585c	1,008ab	0,468b	0,344a	0,236a	0,146a	0,631b	3,787b	0,267b
4	4,5	1,440d	1,203a	0,731a	0,477a	0,367a	0,165a	0,730a	4,383a	0,436a
5	1,5	1,062e	0,241d	0,101d	0,067b	0 b	0b	0,245d	1,471d	0,024c
6	3,0	1,762b	0,752c	0,268c	0,141b	0,070b	0b	0,499c	2,993c	0,026c
7	4,5	1,999a	0,814c	0,299c	0,146b	0,084b	0b	0,557c	3,342c	0,039c
n°	dose	Ca (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,122a	0,026c	0c	0d	0b	0b	0,025b	0,148b	0,073b
2	1,5	0,061b	0,172a	0,148a	0,082c	0,031b	0,004b	0,083a	0,498a	0b
3	3,0	0,027c	0,073b	0,041b	0,195a	0,153a	0,081a	0,095a	0,570a	0,148b
4	4,5	0,038c	0,052c	0,012c	0,145b	0,121a	0,061a	0,071a	0,429a	0,656a
5	1,5	0,072b	0,090b	0,007c	0,004d	0b	0b	0,029b	0,173b	0b
6	3,0	0,036c	0,044c	0c	0,004d	0,002b	0b	0,015b	0,086b	0b
7	4,5	0,031c	0,026c	0c	0,006d	0,001b	0b	0,011b	0,064b	0b
n°	dose	Mg (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,110b	0,025c	0c	0d	0c	0b	0,023c	0,135c	0,010c
2	1,5	0,193a	0,376a	0,193b	0,078c	0,036c	0,001b	0,146b	0,877b	0,034c
3	3,0	0,129b	0,245b	0,361a	0,382b	0,244b	0,111a	0,245a	1,472a	0,215b
4	4,5	0,115b	0,198b	0,239b	0,452a	0,337a	0,127a	0,245a	1,468a	0,534a
5	1,5	0,058c	0,042c	0,016c	0,010d	0c	0b	0,021c	0,126c	0,011c
6	3,0	0,038c	0,031c	0,012c	0,015d	0,016c	0b	0,019c	0,112c	0,006c
7	4,5	0,032c	0,011c	0,009c	0,010d	0,011c	0b	0,012c	0,073c	0,011c
n°	dose	P (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,178a	0,068b	0c	0c	0c	0b	0,041d	0,246d	0,042c
2	1,5	0,117b	0,097a	0,098a	0,100a	0,062a	0,001b	0,079a	0,475a	0,102c
3	3,0	0,062c	0,081b	0,057b	0,085a	0,066a	0,042a	0,066b	0,393b	0,179b
4	4,5	0,062c	0,062b	0,065b	0,084a	0,075a	0,036a	0,064b	0,384b	0,261a
5	1,5	0,127b	0,098a	0,064b	0,047b	0c	0b	0,056c	0,336c	0,090c
6	3,0	0,140b	0,100a	0,055b	0,050b	0,036b	0b	0,064b	0,381b	0,062c
7	4,5	0,133b	0,061b	0,053b	0,052b	0,032b	0b	0,055c	0,331c	0,099c

Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

\*P.A. = Parte Aérea.

**Tabela 8:** Análises estatísticas entre os tipos de produtos utilizados de *B. decumbens* em seis coletas em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1).

Dias	Biomassa seca (g vaso <sup>-1</sup> )					K (g vaso <sup>-1</sup> )				Ca (g vaso <sup>-1</sup> )			
	Tipo produto	Dose (g K)				Dose (g K)				Dose (g K)			
		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
60	Cinzas	85,71a	77,82a	76,69a	80,07a	1,211a	1,585a	1,440b	1,412b	0,061a	0,027a	0,038a	0,042a
	Adubo	75,86b	82,17a	81,56a	79,87a	1,062a	1,762a	1,999a	1,607a	0,072a	0,036a	0,031a	0,046a
	CV(%)	7,58				16,54				76,56			
120	Cinzas	53,43a	68,72a	66,96a	63,04a	0,330a	1,008a	1,203a	0,847a	0,172a	0,073a	0,052a	0,099a
	Adubo	32,19b	50,71b	40,39b	41,10b	0,241a	0,752b	0,814b	0,602b	0,090b	0,044a	0,026a	0,053b
	CV(%)	15,09				26,35				31,64			
180	Cinzas	39,98a	55,12a	59,54a	51,55a	0,130a	0,468a	0,731a	0,443a	0,148a	0,041a	0,012a	0,067a
	Adubo	21,22b	25,40b	24,56b	23,73b	0,101a	0,268b	0,299b	0,223b	0,007b	0,000b	0,000a	0,002b
	CV(%)	9,61				24,77				34,74			
240	Cinzas	34,72a	63,69a	70,88a	56,43a	0,114a	0,344a	0,477a	0,311a	0,082a	0,195a	0,145a	0,141a
	Adubo	16,67b	22,96b	23,56b	21,06b	0,067a	0,141b	0,146b	0,118b	0,004b	0,004b	0,006b	0,005b
	CV(%)	8,48				19,18				47,17			
300	Cinzas	25,35a	48,81a	58,76a	44,31a	0,088a	0,236a	0,367a	0,230a	0,031a	0,153a	0,121a	0,121a
	Adubo	0b	15,59b	16,17b	10,59b	0b	0,070b	0,084b	0,051b	0a	0,002b	0,001b	0,001b
	CV(%)	19,11				22,37				64,76			
360	Cinzas	0,50a	28,15a	30,03a	19,56a	1,04a	5,20a	5,39a	3,88a	0,004a	0,081a	0,061a	0,049a
	Adubo	0a	0b	0b	0b	0a	0b	0b	0b	0a	0b	0a	0b
	CV(%)	19,67				84,92				80,92			

Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Continuação Tabela 8:

Dias	Mg (g vaso <sup>-1</sup> )				P (g vaso <sup>-1</sup> )				
	Tipo produto	Dose (g K)			Dose (g K)			Média	
60		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,193a	0,129a	0,115a	0,145a	0,117a	0,062b	0,062b	0,080b
	Adubo	0,058b	0,038b	0,032b	0,043b	0,127a	0,140a	0,133a	0,133a
	CV(%)	30,34				22			
120		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,376a	0,245a	0,198a	0,273a	0,097a	0,081a	0,062a	0,080a
	Adubo	0,042b	0,031b	0,011b	0,028b	0,098a	0,997a	0,061a	0,086a
	CV(%)	22,70				34,80			
180		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,193a	0,361a	0,239a	0,264a	0,098b	0,057a	0,065a	0,074a
	Adubo	0,016b	0,012b	0,009b	0,012b	0,064a	0,055a	0,053a	0,058b
	CV(%)	23,39				18,87			
240		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,078a	0,382a	0,452a	0,304a	0,100a	0,085a	0,084a	0,090a
	Adubo	0,010a	0,015b	0,010b	0,012b	0,047b	0,050b	0,052b	0,050b
	CV(%)	54,57				13,73			
300		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,036a	0,244a	0,337a	0,206a	0,062a	0,066a	0,075a	0,068a
	Adubo	0b	0,016b	0,011b	0,009b	0b	0,036b	0,032b	0,022b
	CV(%)	39,00				23,72			
360		1,5	3,0	4,5	Média	1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,001a	0,111a	0,127a	0,080a	0,001a	0,042a	0,036a	0,026a
	Adubo	0b	0b	0b	0b	0a	0b	0b	0b
	CV(%)	89,74				74,87			

Peso	Médias das datas (g vaso <sup>-1</sup> )				
	Tipo produto	Dose (g K)			Média
K		1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	39,95a	57,05a	60,48a	52,49a
	Adubo	24,32b	32,81b	31,04b	29,39b
	CV(%)	6,73			
Ca		1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,313a	0,631a	0,730a	0,558a
	Adubo	0,245a	0,499b	0,557b	0,434b
	CV(%)	13,57			
Mg		1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,146a	0,245a	0,245a	0,212a
	Adubo	0,021b	0,019b	0,012b	0,017b
	CV(%)	16,34			
P		1,5	3,0	4,5	Média
	Cinzas	0,079a	0,066a	0,064a	0,070a
	Adubo	0,056b	0,064a	0,055a	0,058b
	CV(%)	13,00			

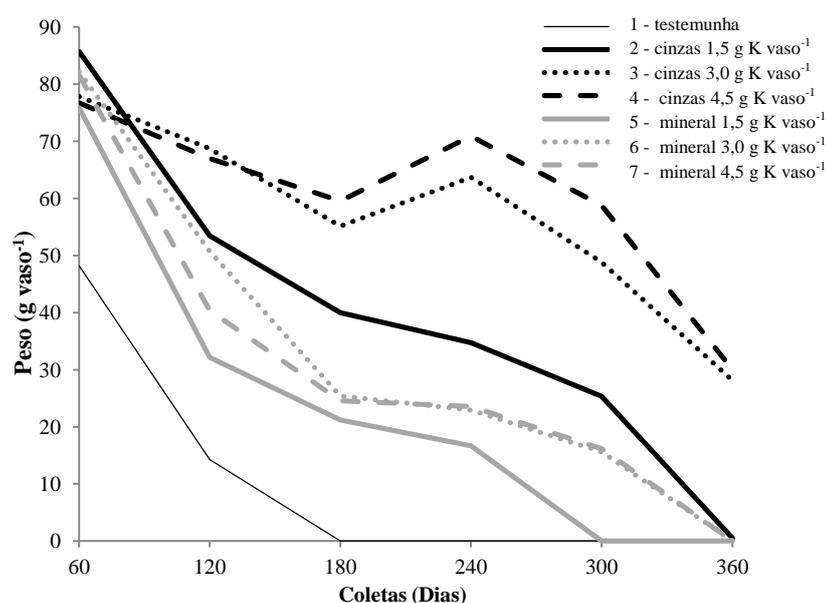
Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

**Tabela 9:** Análise entre os tratamentos e testemunha experimento 1.

	Dias após germinação						Média	Raiz
	60	120	180	240	300	360		
	Peso biomassa seca (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	48,22b	14,24b	0b	0b	0b	0b	10,41b	64,64b
Tratamentos	79,97a	52,07a	37,64a	38,75a	27,450a	9,780a	40,94a	311,6a
	K (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,144b	0,098b	0b	0b	0b	0b	0,040b	0,009b
Tratamentos	1,510a	0,725a	0,333a	0,215a	0,141a	0,052a	0,496a	0,150a
	Ca (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,122a	0,026b	0b	0b	0b	0b	0,025b	0,064a
Tratamentos	0,044b	0,076a	0,035a	0,073a	0,0510a	0,024a	0,051a	0,130a
	Mg (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,110a	0,025b	0b	0b	0b	0b	0,023b	0,008b
Tratamentos	0,094a	0,151a	0,138a	0,158a	0,107a	0,040a	0,115a	0,140a
	P (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,178a	0,068a	0b	0b	0b	0b	0,041b	0,039b
Tratamentos	0,107b	0,083a	0,066a	0,070a	0,045a	0,013a	0,064a	0,130a

Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

A tabela 7 descreve as diferenças estatísticas encontradas no experimento de uma maneira geral, mas não define quanto a essas diferenças serem provenientes das dosagens aplicadas ou do tipo de produto utilizado como fonte de nutrientes (cinzas ou adubo mineral), e/ou ainda, sobre o comportamento entre os tratamentos e testemunha. Portanto, com a análise em conjunto das tabelas pode-se comprovar que os tratamentos, independentemente do tipo de produto utilizado, foram significativamente superiores à testemunha (tabelas 7 e 9) e que as dosagens com cinzas foram superiores às dosagens com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (tabelas 7 e 8) em todos os níveis no parâmetro biomassa seca acumulada avaliado em seis coletas durante 12 meses de cultivo.

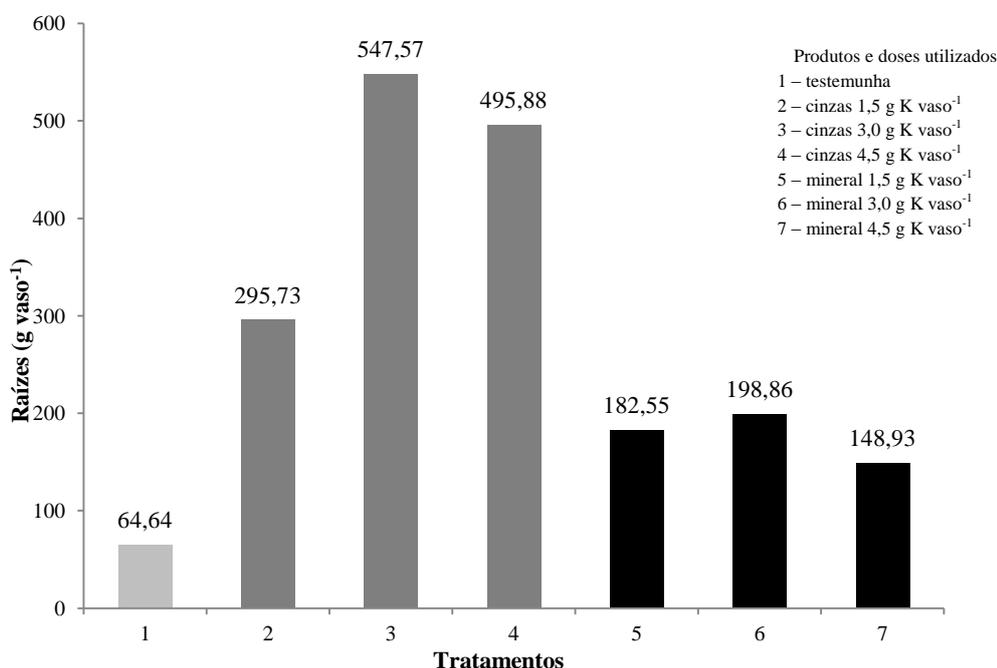


**Figura 6:** Biomassa seca de *B. decumbens* cultivados em vasos em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1).

O acúmulo de biomassa seca dos tratamentos que levaram cinzas como fonte do nutriente K obtiveram os melhores rendimentos em todas as coletas, exceto na primeira (aos 60 DAG). Pode-se destacar os tratamentos com a utilização de cinzas nas doses de 3,0 e 4,5 g K vaso<sup>-1</sup>, dosagens maiores de cinzas, o que demonstrou que as cinzas provenientes de capim-elefante podem ser uma ótima alternativa para a utilização na nutrição de plantas (figura 8).

Após a quinta coleta, as plantas dos tratamentos que utilizaram doses maiores de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> por vaso entraram em declínio, até a morte de todas as plantas na coleta seguinte. Isso também ocorreu com o tratamento com cinzas na dosagem de 1,5 g K vaso<sup>-1</sup>, menor dosagem com a utilização de cinzas. Na última coleta restaram apenas os dois tratamentos que mais produziram durante todo o experimento, os tratamentos com cinzas nas doses de 3,0 e 4,5 g K vaso<sup>-1</sup>. Desta forma, pode-se dizer que os tratamentos com adubação convencional foram coletados em cinco ocasiões, uma a menos que o tratamento com cinzas, por não resistirem até o final do experimento.

A produção de biomassa de raízes foi correspondente à da parte aérea (figura 7), com o sistema radicular mais desenvolvido nos tratamentos que continham cinzas como fonte de nutrientes que os tratamentos com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que não apresentaram diferença estatística entre eles. Um maior desenvolvimento do sistema radicular pode facilitar a absorção de nutrientes em uma proporção maior, como pode-se perceber nos gráficos de quantidades de nutrientes extraídos (figura 8). Ainda, se um sistema radicular é melhor desenvolvido no campo, a planta sofrerá menos com períodos de estiagem, proporcionalmente, favorecerá a captação de água em área e profundidade, o que possibilita maiores rendimentos de biomassa e produção.



**Figura 7:** Biomassa seca de raízes de *B. decumbens* cultivados em vasos em casa de vegetação em 12 meses de cultivo (EXPERIMENTO 1).

### 3.3 Quantidade de nutrientes extraídos por *B. decumbens* cultivados em vasos em casa de vegetação sob utilização de diferentes fontes de potássio. EXPERIMENTO 1.

Ao se observar a figura 8-b, nota-se que uma maior quantidade de K foi absorvida logo na primeira coleta nos tratamentos com a utilização de  $K_2SO_4$  como fonte de nutriente, com o decréscimo mais acentuado nas coletas subsequentes. Portanto, com o fornecimento de cinzas, as plantas tiveram uma fonte de nutriente melhor distribuído com o tempo, com o elemento K, do contrário, com a adubação com  $K_2SO_4$ , o que acarretou a falta do nutriente para a planta próximo ao fim do experimento.

O solo utilizado para o experimento (tabela 2) possuía baixos níveis de macronutrientes, além de nível de pH de moderado para fortemente ácido e níveis de  $Al^{3+}$  considerado baixo, apesar de estar próximo do limite de  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para ser considerado alto (FREIRE et al., 2010).

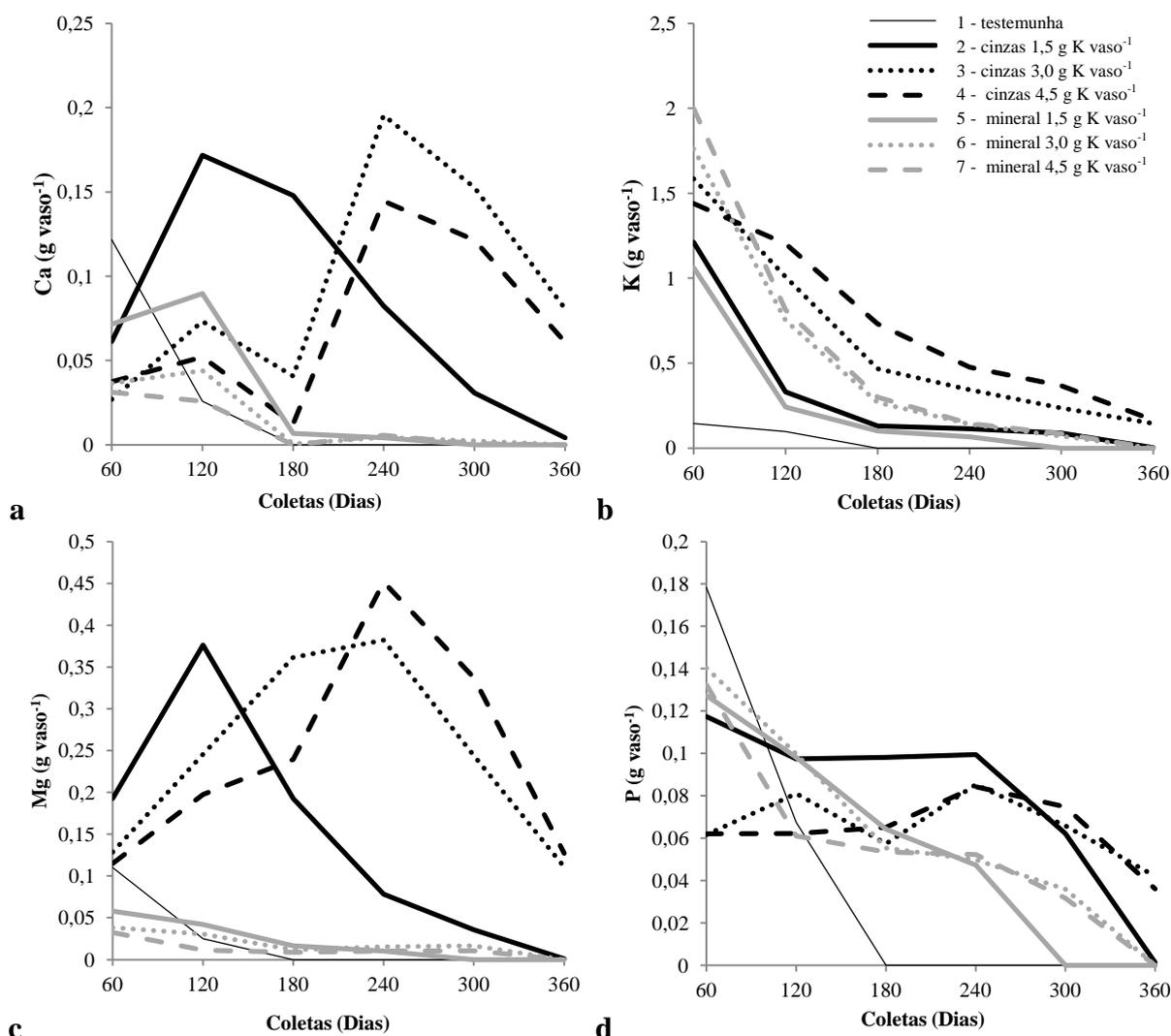
Como no tratamento testemunha houve apenas as duas primeiras coletas, com a morte das plantas posteriormente, na comparação dos tratamentos com a mesma, houve significativa superioridade com ambos os produtos, independentemente das dosagens (tabelas 8 e 9). Ao se analisar apenas as duas primeiras coletas, as testemunhas foram superiores, estatisticamente, na primeira coleta com relação às quantidades de P e Ca absorvidas. A pouca quantidade de cátions, pode ter levado as testemunhas à absorver mais Ca e Mg de maneira mais significativa, apesar de não ter havido, estatisticamente, significativa superioridade com relação ao Mg (MANLIO & SOUZA, 2006), principalmente com mínimas quantidades de K. Com o suprimento de cinzas, houve o conseqüente aporte de outros macronutrientes que eram constituintes do material originário das cinzas (biomassa do capim-elefante), com a impossibilidade de separação. Desta forma, os tratamentos que foram adubados com  $K_2SO_4$ , mesmo em conjunto com o superfosfato simples, obtiveram menor quantidade de nutrientes como o P, o Ca e o Mg, com evidência estatística na tabela 8, onde os tratamentos com cinzas foram superiores quanto à quantidade absorvida, em relação à adubação convencional. As quantidades de nutrientes extraídos encontrados na biomassa coletada foram superiores, no geral, nos tratamentos que levaram cinzas em suas dosagens para os elementos avaliados (Ca, P, Mg e K), como pode ser observado na figura 8 (a – d). O reflexo deste comportamento pode ser observado na quantidade de biomassa exibida pelo gráfico da figura 6.

Ao se comparar as quantidades de K e Mg na figura 8, pode-se perceber que nos tratamentos com cinzas, principalmente os de maiores dosagens, até a quarta coleta, a quantidade de Mg encontrado na biomassa coletada aumentou, enquanto a de K diminuiu. A absorção do Mg pelas plantas se faz de modo semelhante ao K, mas com a necessidade de contato do elemento com a raiz, por interceptação radicular, difusão ou fluxo de massa, a última, responsável pela maior proporção do contato dos cátions bivalentes Ca e Mg com a raiz (MANLIO & SOUZA, 2006). A deficiência de Mg pode ser atribuída à competição com outros cátions, como o Ca e o K. A relação do Mg com o K pode ser um fator importante sob certas condições, quando o K pode diminuir a absorção de Mg. Desta maneira, os resultados apontam que com a quantidade alta de K no solo, a quantidade de Mg e Ca absorvidos foi menor, mas com o passar do tempo com as coletas sucessivas, a quantidade de Ca e Mg absorvidos cresceu com o decréscimo da absorção do K.

Os cátions de Ca e Mg das cinzas puderam ser absorvidos pela planta, pois o solo utilizado no experimento apresentou baixas concentrações de Ca e Mg. Assim a nutrição de Ca e Mg dependeu do que foi fornecido pelas cinzas, o que não aconteceu nos tratamentos com adubação mineral de K, mesmo com a adição destes dois macronutrientes via superfosfato simples.

A quantidade extraída pela planta de K proveniente das cinzas fornecido ao solo foi maior do que a quantidade disponibilizada pela adubação com  $K_2SO_4$ , em todas as dosagens correspondentes, exceto na primeira coleta, onde foram os tratamentos com o fornecimento de cinzas (nas doses de 3,0 e 4,5 g K vaso<sup>-1</sup>) inferiores ao de  $K_2SO_4$ .

Na figura 8-d, pode-se perceber que o P foi o nutriente que teve o comportamento mais irregular entre todos os tratamentos. Apenas na primeira coleta o tratamento testemunha teve uma quantidade superior aos outros. A adubação que utilizaram cinzas em suas dosagens foram inferiores apenas na primeira e na segunda coleta, a partir deste ponto foram maiores nas subsequentes, até porque na última coleta as plantas dos tratamentos sem adição de cinzas como fonte de nutriente haviam morrido.



**Figura 8:** quantidade (g vaso<sup>-1</sup>) de macronutrientes extraídos por *B. decumbens* cultivados em vasos em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1).

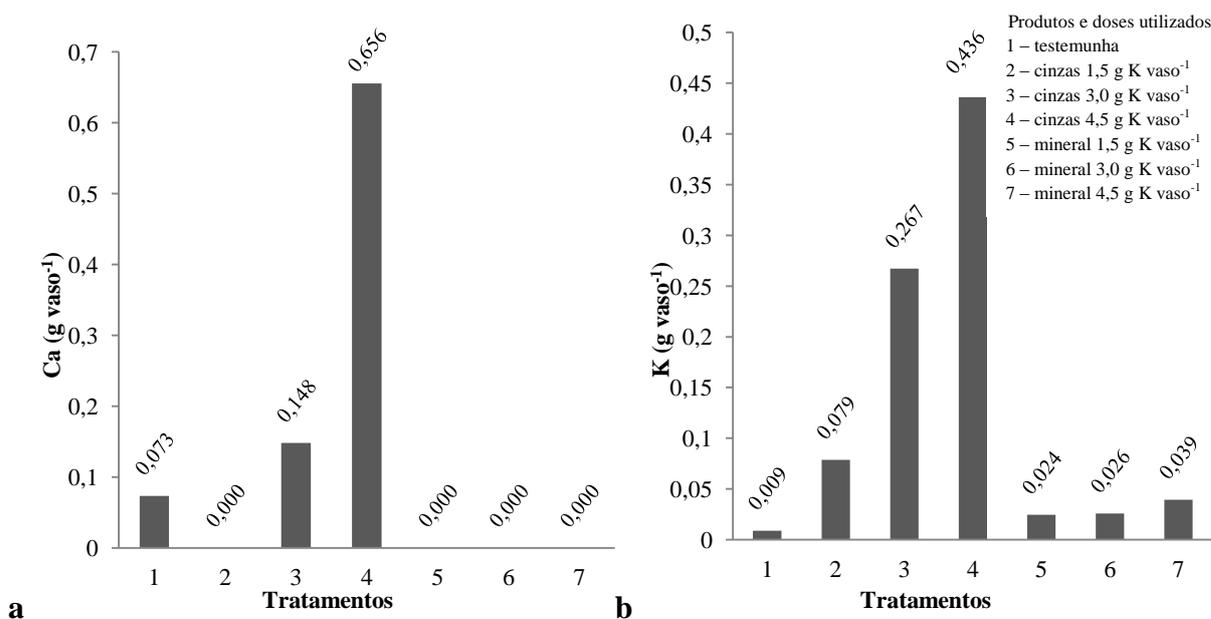
De maneira geral, ao analisar a quantidade de elementos existentes no solo inicialmente (previamente ao início do experimento) e a quantidade adicionada com as dosagens, pode-se perceber que a planta respondeu com produtividade de biomassa e extração de elementos com os dois tipos de fontes de K e P utilizados (Tabela 7). Com os totais dos elementos extraídos nos 12 meses (6 coletas), pode-se constatar que todos os tratamentos extraíram mais de 90% do K adicionados nos vasos. Ao se analisar as quantidades totais dos

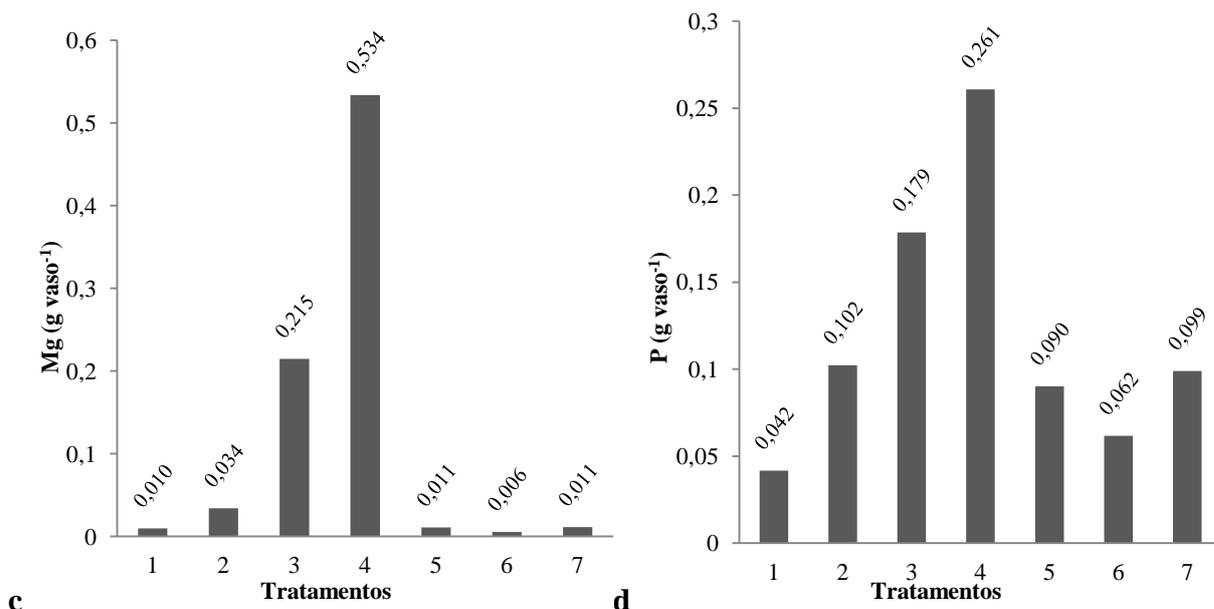
tratamentos com cinzas como fonte de nutrientes, os tratamentos com as dosagens de 1,5 e 3,0 g K vaso<sup>-1</sup> extraíram mais de 100% (125 e 126%, respectivamente) do K adicionado, ou seja, a porção existente no solo foi extraída também. No tratamento com dosagem maior de nutriente proveniente das cinzas (4,5g K vaso<sup>-1</sup>) pode-se dizer que se extraiu quase a totalidade adicionada, pois não haveria outra fonte possível para tal, mesmo considerado a absorção da quantidade contida previamente no solo do experimento.

Nos vasos em que foram adicionados K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como fonte de K, os resultados foram semelhantes, com apenas o tratamento de maior dosagem (4,5 g K vaso<sup>-1</sup>) com 74,26% de extração do nutriente. Os tratamentos com fonte mineral nas dosagens de 1,5 e 3,0 g K vaso<sup>-1</sup> alcançaram 98 e 99% de extração, respectivamente.

Os resultados demonstram que ao se adicionar dosagens mais altas, a planta responde com a absorção de nutrientes, conseqüentemente, com o incremento de biomassa. Apesar disso, a absorção de K nos tratamentos com a utilização como fonte as cinzas se realizou de maneira mais lenta, já que os tratamentos com adubações com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> não resistiram até a sexta coleta. Na verdade, os tratamentos com cinzas demoraram 12 meses para absorver este valor e os outros tratamentos 10 meses. Isto pode conferir às cinzas uma maior resiliência no ambiente do solo, disponibilizar paulatinamente nutrientes para a planta, com menores perdas por lixiviação.

Nas análises de raízes, houve semelhante comportamento em relação a parte aérea coletada (figura 9). Com os tratamentos que tiveram cinzas como fontes de nutrientes as maiores dosagens (3,0 e 4,5 g K vaso<sup>-1</sup>) apresentaram as maiores quantidades extraídas, quando comparados com as doses com a utilização de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O nutriente Ca não foi detectado nas análises dos tratamentos com adubo convencional, somente no tratamento testemunha e nos que levaram cinzas em sua composição, o que destaca a sua contribuição para um melhor efeito nutricional na planta. Se somados a quantidade que foi extraída da parte aérea e das raízes, todos os tratamentos, exceto os tratamentos testemunha e com adubo mineral na dose de 4,5 g K vaso<sup>-1</sup>, ultrapassam 100% de absorção de K.





**Figura 9:** Quantidade de macronutrientes extraídos por raízes de *B. decumbens* cultivados em vasos em casa de vegetação em 12 meses de cultivo (EXPERIMENTO 1).

O experimento demonstra que a utilização de cinzas podem ser benéficas para o desenvolvimento de culturas, por se tratar de um composto heterogêneo com quantidades de variados elementos. A sua utilização no campo pode favorecer plantações e evitar que o meio ambiente seja degradado com um mal descarte destes dejetos.

Com a observação dos resultados de biomassa seca e extração do nutriente K ao longo do tempo nas coletas (figura 6 e figura 8-b), pode-se traçar um paralelo interpretativo, já que na primeira coleta os tratamentos em que se utilizou  $K_2SO_4$  foram superiores aos demais, proporcionalmente a cada dosagem, assim como na produção de biomassa seca. O que contribui com esta interpretação, verifica-se nas análises de raízes que reforçam a afirmação (figura 9). Desta forma, pode-se dizer que os nutrientes das cinzas foram absorvidos mais lentamente pela planta, com maior resiliência no vaso. A solubilidade das cinzas pode estar envolvida com estes resultados, já que os adubos potássicos convencionais são solúveis em água (CAMPOS et al., 2010) e as características de solubilidade das cinzas são variáveis e depende também do material que é incinerado. De acordo com o regime de chuvas ou irrigação, a lixiviação de elementos pode ser menor com a utilização de cinzas desta maneira.

### 3.4 Acúmulo de biomassa de *B. decumbens* em 12 meses cultivados em vasos sob utilização de cinzas e fertilizantes minerais como fontes de nutrientes. EXPERIMENTO 2.

Assim como no experimento 1, este foi conduzido com testemunha, com a mesma necessidade de utilizar as tabelas em anexo (tabelas 10, 11 e 12), para se chegar em uma melhor interpretação dos resultados ao se observar analiticamente da figura 10 a figura 13. A tabela em anexo (tabela 11) descreve as diferenças encontradas no experimento, quanto ao efeito diferencial ser proveniente da dosagem ou do tipo de produto. Neste experimento foi observado que independente do tipo de produto utilizado, todos os tratamentos foram significativamente superiores à testemunha (tabela 11). Outra observação foi que a biomassa seca acumulada nos 12 meses de cultivo foi maior nas doses de cinzas acima de 1,5 (tabela 12).

**Tabela 10:** Biomassa de parte aérea (P.A.), raiz e macronutrientes extraídos de *B. decumbens* em seis coletas em ambiente externo (EXPERIMENTO 2).

Tratamentos (g K vaso <sup>-1</sup> )		Dias após germinação						Méd.	Total (P.A. *)	Total Raiz
n°	dose	60	120	180	240	300	360			
		biomassa seca (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	14,24b	18,74c	16,97d	0d	0d	0c	6,63e	49,94e	49,01d
2	0,75	30,56a	31,90b	31,96c	25,10c	15,08c	11,40b	24,33d	146,00d	154,2c
3	1,5	32,83a	37,12a	46,39b	33,95b	20,35b	13,26b	30,65c	183,90c	241,5b
4	2,25	33,46a	38,96a	54,59a	37,07a	23,87a	16,83a	34,13a	204,79a	282,7a
5	0,75	29,98a	34,35b	31,90c	23,35c	12,55c	11,08b	23,87d	143,21d	133,9c
6	1,5	33,07a	37,23a	45,47b	31,95b	18,35b	11,34b	29,57c	177,42c	176,9c
7	2,25	32,70a	38,55a	48,75b	35,90a	22,59a	15,17a	32,28b	193,66b	200,9b
		K (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,083d	0,091d	0,028d	0c	0d	0c	0,034e	0,202e	0,025c
2	0,75	0,214c	0,151c	0,124c	0,120b	0,072b	0,054b	0,127d	0,735d	0,064b
3	1,5	0,320a	0,210a	0,199b	0,150a	0,100b	0,065b	0,180b	1,044b	0,101a
4	2,25	0,339a	0,234a	0,266a	0,188a	0,137a	0,069b	0,215a	1,233a	0,113a
5	0,75	0,257b	0,140c	0,106c	0,082b	0,047c	0,079b	0,116d	0,711d	0,048b
6	1,5	0,346a	0,175b	0,140c	0,103b	0,075b	0,102a	0,149c	0,941c	0,051b
7	2,25	0,330a	0,182b	0,173b	0,120b	0,094b	0,128a	0,161c	1,027c	0,063b
		Ca (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,023b	0,004c	0,015e	0d	0b	0a	0,007d	0,042d	0a
2	0,75	0,096a	0,24b	0,08d	0,022d	0,013b	0,013a	0,077c	0,464c	0a
3	1,5	0,067a	0,314a	0,257c	0,095c	0,03b	0,014a	0,13b	0,777b	0a
4	2,25	0,058a	0,228b	0,313b	0,145b	0,063a	0,018a	0,141b	0,825b	0,016a
5	0,75	0,080a	0,323a	0,071d	0,014d	0,011b	0,019a	0,086c	0,518c	0a
6	1,5	0,077a	0,339a	0,301b	0,134b	0,029b	0,038a	0,15b	0,918b	0a
7	2,25	0,066a	0,338a	0,373a	0,204a	0,09a	0,051a	0,187a	1,122a	0,015a
		Mg (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,036d	0,026f	0,011f	0e	0d	0c	0,012f	0,073f	0,011a
2	0,75	0,171b	0,098e	0,044e	0,039d	0,023c	0,027b	0,067e	0,402e	0,005a
3	1,5	0,168b	0,222c	0,106d	0,072c	0,044b	0,033b	0,108d	0,645d	0,009a
4	2,25	0,142c	0,316a	0,182b	0,100b	0,067a	0,048a	0,142b	0,855b	0,014a
5	0,75	0,160b	0,148d	0,044e	0,027d	0,019c	0,027b	0,071e	0,425e	0,008a
6	1,5	0,190a	0,278b	0,158c	0,074c	0,045b	0,032b	0,130c	0,777c	0,008a
7	2,25	0,188a	0,328a	0,237a	0,149a	0,080a	0,054a	0,173a	1,036a	0,013a
		P (g vaso <sup>-1</sup> )								
1	0	0,017b	0,024c	0,012c	0d	0b	0a	0,009c	0,053c	0,022c
2	0,75	0,111a	0,169b	0,078b	0,073c	0,034b	0,025a	0,082b	0,490b	0,076b
3	1,5	0,127a	0,228a	0,198a	0,112b	0,062a	0,035a	0,127a	0,762a	0,137a
4	2,25	0,124a	0,211a	0,235a	0,123b	0,085a	0,044a	0,137a	0,822a	0,157a
5	0,75	0,088a	0,157b	0,078b	0,051c	0,029b	0,023a	0,071b	0,426b	0,072b
6	1,5	0,121a	0,203a	0,194a	0,121b	0,064a	0,040a	0,124a	0,743a	0,094b
7	2,25	0,143a	0,220a	0,213a	0,156a	0,099a	0,056a	0,148a	0,887a	0,162a

Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

\*P.A. = Parte Aérea.

**Tabela 11:** Análises estatísticas entre os tipos de produtos utilizados de *B. decumbens* em seis coletas (EXPERIMENTO 2).

Dias	Biomassa seca (g vaso <sup>-1</sup> )					K (g vaso <sup>-1</sup> )				Ca (g vaso <sup>-1</sup> )			
	Tipo produto	Dose (g K)				Dose (g K)				Dose (g K)			
		0,75	1,5	2,25	Média	0,75	1,5	2,25	Média	0,75	1,5	2,25	Média
60	Cinzas	30,56a	32,83a	33,46a	32,28a	0,214a	0,320a	0,339a	0,291a	0,096a	0,067a	0,058a	0,074a
	Adubo	29,98a	33,07a	32,70a	31,92a	0,257a	0,346a	0,330a	0,311a	0,080b	0,077a	0,066a	0,074a
	CV(%)	3,86				25,83				13,52			
120	Cinzas	31,90b	37,12a	38,96a	35,99a	0,151a	0,210a	0,234a	0,198a	0,240b	0,314a	0,228b	0,261b
	Adubo	34,35a	37,23a	38,55a	36,71a	0,140a	0,175b	0,182b	0,166b	0,323a	0,339a	0,338a	0,333a
	CV(%)	4,01				13,29				10,79			
180	Cinzas	31,96a	46,39a	54,59a	44,31a	0,124a	0,199a	0,266a	0,196a	0,080a	0,257a	0,313a	0,217a
	Adubo	31,90a	45,47a	48,75a	42,04a	0,106a	0,140b	0,173b	0,140b	0,071a	0,301a	0,373a	0,248a
	CV(%)	11,13				10,85				26,50			
240	Cinzas	25,10a	33,95a	37,07a	32,04a	0,120a	0,150a	0,188a	0,153a	0,022a	0,095b	0,145b	0,087b
	Adubo	23,35a	31,95b	35,90a	30,40b	0,082b	0,103b	0,120b	0,102b	0,014a	0,134a	0,204a	0,117a
	CV(%)	4,49				15,11				27,45			
300	Cinzas	15,08a	20,35a	23,87a	19,77a	0,072a	0,100a	0,137a	0,103a	0,013a	0,030a	0,063b	0,035a
	Adubo	12,55b	18,35b	22,59a	17,83b	0,047a	0,075a	0,094b	0,072b	0,011a	0,029b	0,090a	0,043a
	CV(%)	6,67				25,96				32,72			
360	Cinzas	11,40a	13,26a	16,83a	13,83a	0,079a	0,102a	0,128a	0,103a	0,013a	0,014a	0,038a	0,022a
	Adubo	11,08a	11,34a	15,17a	12,53a	0,065a	0,054b	0,069b	0,063b	0,018a	0,019a	0,051a	0,029a
	CV(%)	14,14				18,28				44,93			

Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Continuação Tabela 11:

Dias	Mg (g vaso <sup>-1</sup> )					P (g vaso <sup>-1</sup> )				
	Tipo produto	Dose (g K)			Média	Tipo produto	Dose (g K)			Média
60	Cinzas	0,171a	0,168a	0,142b	0,160b	0,111a	0,127a	0,124a	0,121a	
	Adubo	0,160a	0,190a	0,188a	0,179a	0,088a	0,121a	0,143a	0,117a	
	CV(%)	10,51				19,81				
120	Cinzas	0,098b	0,222b	0,316a	0,212b	0,169a	0,228a	0,211a	0,203a	
	Adubo	0,148a	0,278a	0,328a	0,251a	0,157a	0,203a	0,220a	0,193a	
	CV(%)	13,46				17,66				
180	Cinzas	0,044a	0,106b	0,182b	0,110b	0,078a	0,198a	0,235a	0,171a	
	Adubo	0,044a	0,158a	0,237a	0,146a	0,078a	0,194a	0,213a	0,162a	
	CV(%)	12,47				29,30				
240	Cinzas	0,039a	0,072a	0,100b	0,070b	0,073a	0,112a	0,123b	0,103b	
	Adubo	0,027a	0,074a	0,149a	0,083a	0,051a	0,121a	0,156a	0,109a	
	CV(%)	11,51				17,58				
300	Cinzas	0,023a	0,044a	0,067b	0,045a	0,034a	0,062a	0,085a	0,060a	
	Adubo	0,019a	0,045a	0,080a	0,048a	0,029a	0,064a	0,099a	0,064a	
	CV(%)	13,86				17,82				
360	Cinzas	0,027a	0,033a	0,048a	0,036a	0,025a	0,035a	0,044b	0,035a	
	Adubo	0,027a	0,032a	0,054a	0,038a	0,023a	0,040a	0,056a	0,040a	
	CV(%)	15,55				19,78				

Peso	Médias das datas (g vaso <sup>-1</sup> )				
	Tipo produto	Dose (g K)			Média
K	Cinzas	15,08a	20,35a	23,87a	19,77a
	Adubo	12,55b	18,35b	22,59a	17,83b
	CV(%)	4,21			
Ca	Cinzas	0,127a	0,180a	0,215a	0,174a
	Adubo	0,116a	0,149b	0,161b	0,142b
	CV(%)	10,16			
Mg	Cinzas	0,077a	0,130a	0,141a	0,116b
	Adubo	0,086a	0,150a	0,187b	0,141a
	CV(%)	13,36			
P	Cinzas	0,067a	0,108b	0,142b	0,106b
	Adubo	0,071a	0,130a	0,173a	0,124a
	CV(%)	6,25			

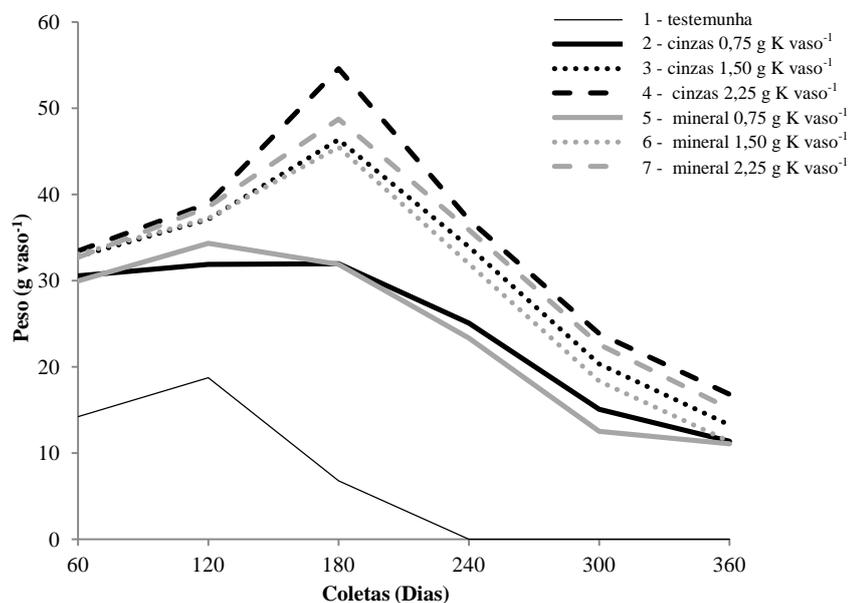
Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

**Tabela 12:** Análise entre os tratamentos e testemunha experimento 2.

	Dias após germinação						Média	Raiz
	60	120	180	240	300	360		
	Peso biomassa seca (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	14,24b	18,74b	6,79b	0b	0b	0b	6,63b	49,01b
Tratamentos	32,10a	36,35a	43,18a	31,22a	18,80a	13,18a	29,14a	198,4a
	K (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,083b	0,091b	0,028b	0b	0b	0b	0,034b	0,025b
Tratamentos	0,301a	0,182a	0,168a	0,127a	0,087a	0,083a	0,158a	0,071a
	Ca (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,023b	0,004b	0,015b	0b	0b	0b	0,007b	0a
Tratamentos	0,074a	0,297a	0,233a	0,102a	0,039a	0,025a	0,128a	0,004a
	Mg (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,036b	0,026b	0,011b	0b	0b	0b	0,012b	0,011a
Tratamentos	0,170a	0,232a	0,128a	0,077a	0,046a	0,037a	0,115a	0,009a
	P (g vaso <sup>-1</sup> )							
Testemunha	0,017b	0,024b	0,012b	0b	0b	0b	0,009b	0,023b
Tratamentos	0,119a	0,198a	0,166a	0,106a	0,062a	0,037a	0,115a	0,115a

Médias seguidas por uma mesma letra minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Na figura 10, pôde-se perceber que o tratamento de cinzas na dose de 2,25 g K vaso<sup>-1</sup> apresentou maior acúmulo de biomassa no decorrer 12 meses de cultivo nos vasos.



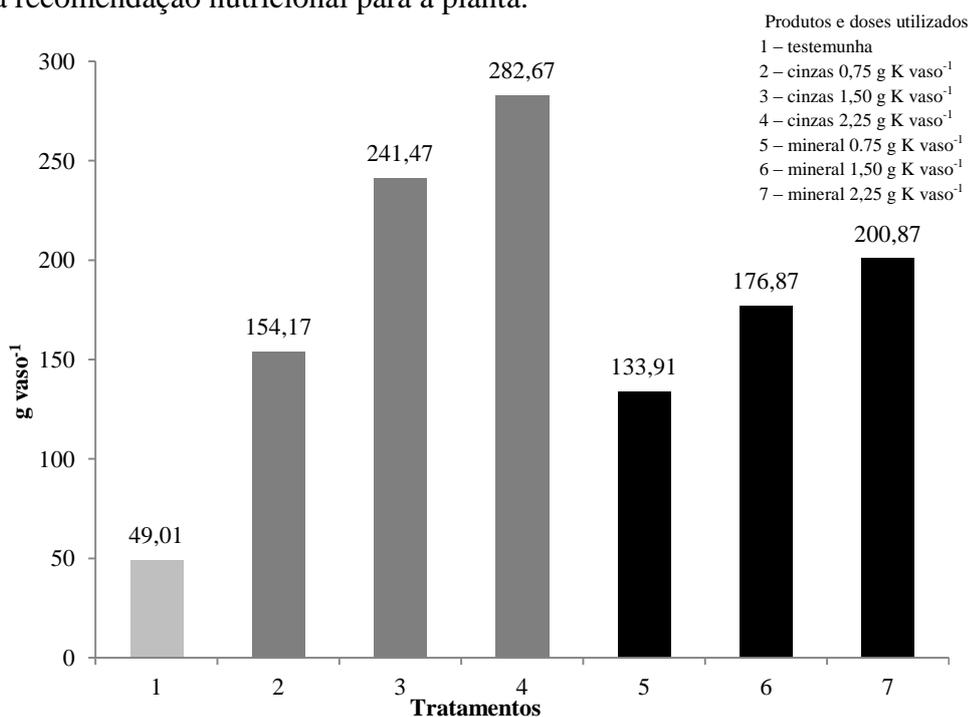
**Figura 10:** Biomassa seca da parte aérea produzida por *B. decumbens* cultivados em vasos em ambiente externo (EXPERIMENTO 2).

Neste experimento, os resultados apresentados assemelham-se com os resultados do experimento anterior, onde o acúmulo de biomassa foi maior nos tratamentos que levaram cinzas em sua composição para adubação (figura 10), principalmente no tratamento com maior dosagem com cinzas (tabela 10). Neste experimento os níveis de dosagens distribuídos para cada elemento foram obtidos com base também no elemento K, mas com uma proporção menor que o do experimento 1 (metade em cada nível). Neste experimento os tratamentos

com ambos os produtos completaram 6 coletas, com supressão somente das plantas testemunhas, a partir da quarta coleta aos 240 DAG.

Com os níveis de elementos adicionados de maneira equitativa, o acúmulo de biomassa por nível de dosagem e ambos produtos fontes de nutrientes foram semelhantes, com pequena vantagem para os tratamentos que levaram cinzas em sua composição de adubação, mas estatisticamente, não houve diferença entre as fontes de nutrientes em cada nível de dosagem na maioria das coletas. Apenas houve diferença estatística na quantidade de biomassa seca acumulada na segunda coleta com a dosagem menor do adubo convencional ( $0,75 \text{ g K vaso}^{-1}$ ) superior aos tratamentos com cinzas, inversamente nas coletas aos 240 e 300 dias após a germinação das plantas, onde houve superioridade, em média, da biomassa seca acumulada nos tratamentos com cinzas (tabela 11 e figura 10).

Após a primeira coleta, os tratamentos com cinzas não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação aos tratamentos com outros produtos minerais, em cada nível de dosagem equivalente. Este resultado difere do experimento 1, o que mostra a influência de uma adubação mais equilibrada. Desta forma, as cinzas, por ter em sua composição significativa quantidade de variados elementos essenciais, pode proporcionar uma vantagem, já que não se necessitaria de formulações complexas para uma adubação mais simples, por um agricultor familiar, por exemplo, ou ainda, se faria necessário apenas uma complementação nutricional de um ou outro elemento, o que gera menores custos e satisfatória recomendação nutricional para a planta.



**Figura 11:** Biomassa seca de raízes produzida por *B. decumbens* cultivado em vasos em ambiente externo durante 12 meses (EXPERIMENTO 2).

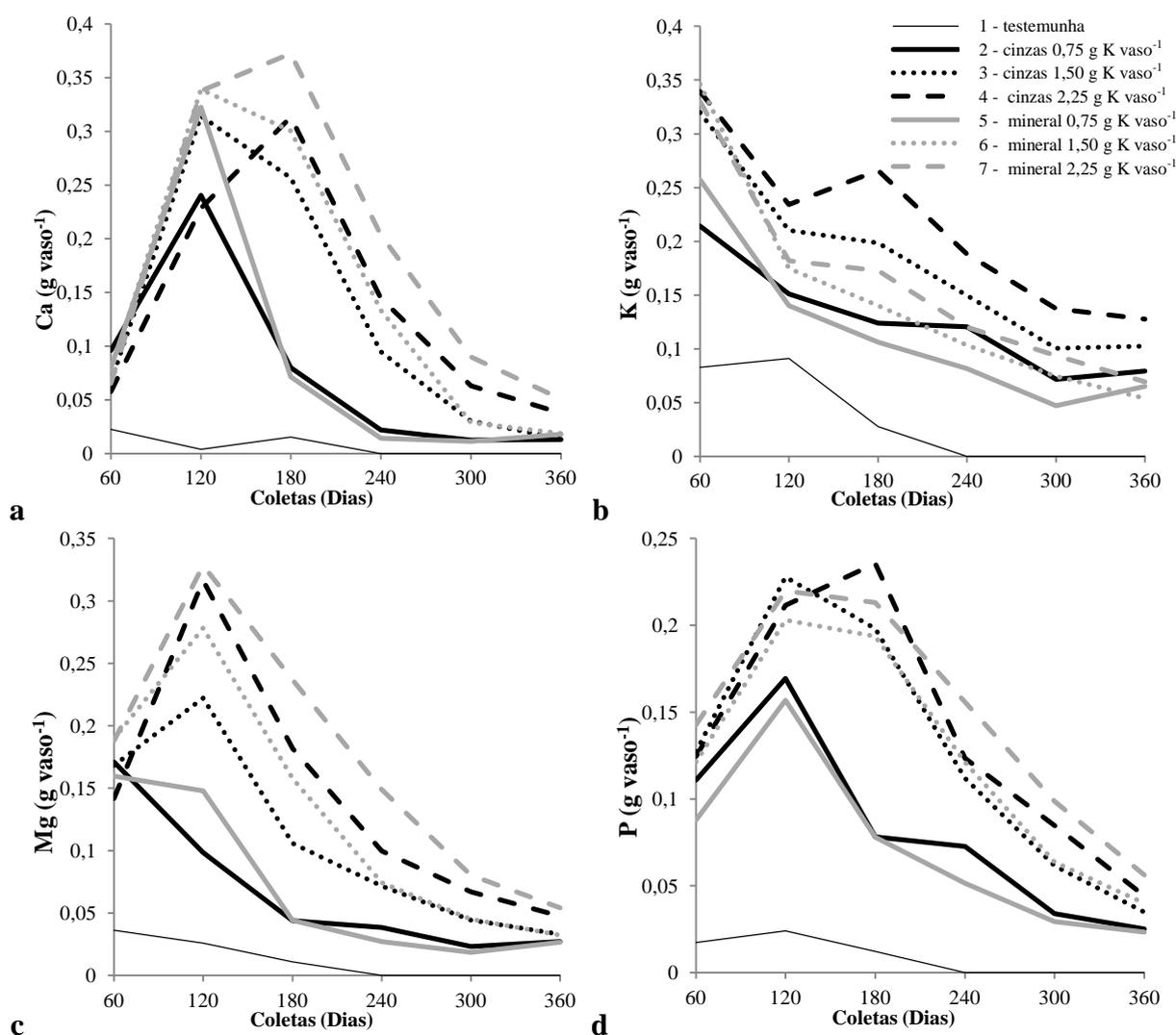
A produção de raízes no final do experimento apontou o mesmo comportamento que o experimento anterior, o que ressalta a eficácia das cinzas como fonte nutricional. Ainda, não houve a morte de nenhuma planta com tratamentos que levaram adubos minerais, o que afirma ainda mais a sua eficácia com os mesmos números de coletas comparadas durante todo o experimento.

### 3.5 Quantidade de nutrientes extraídos por *B. decumbens* cultivados em vasos sob utilização de cinzas e adubos minerais. EXPERIMENTO 2.

A análise prévia de solo que foi utilizado para o experimento mostra que os níveis de macronutrientes são muito baixos, com pH fortemente ácido e nível de  $Al^{3+}$  baixo (FREIRE et al., 2010), características similares ao experimento anterior.

Novamente, este experimento mostrou superioridade dos tratamentos sobre as plantas testemunha (tabela 11), exceto para as análises de raízes com relação aos elementos Ca e Mg, que não diferiram estatisticamente entre si.

Em todos os tratamentos, a quantidade de nutrientes absorvidos acompanhou, de uma maneira geral, as curvas de acúmulo de biomassa nas quatro primeiras coletas. Isso demonstra uma correlação entre o desenvolvimento da planta com a composição química do solo e a capacidade de absorção do produto pela planta indicadora. Na figura 12, pode-se verificar que as cinzas são capazes de serem utilizadas como fonte de nutrientes para a cultura, já que houve crescimento e absorção relativamente semelhantes entre os tratamentos.



**Figura 12:** Quantidade de macronutrientes extraídos por *B. decumbens* cultivados em vasos em ambiente externo (EXPERIMENTO 2).

Para o elemento K, a primeiro momento, houve uma maior quantidade absorvida de nutrientes nos tratamentos com as maiores dosagens, com ambos os produtos, mas nas coletas posteriores, os tratamentos com cinzas foram significativamente maiores do que os com adubos convencionais. Da primeira coleta à última, a quantidade de K absorvido decresceu, com uma ascensão apenas entre a segunda e a terceira coleta, exatamente quando houve um pico no acúmulo de biomassa. Sem a influência de um possível desequilíbrio nutricional no solo nos tratamentos, pode-se afirmar que as cinzas forneceram de maneira mais eficiente o elemento K para as plantas.

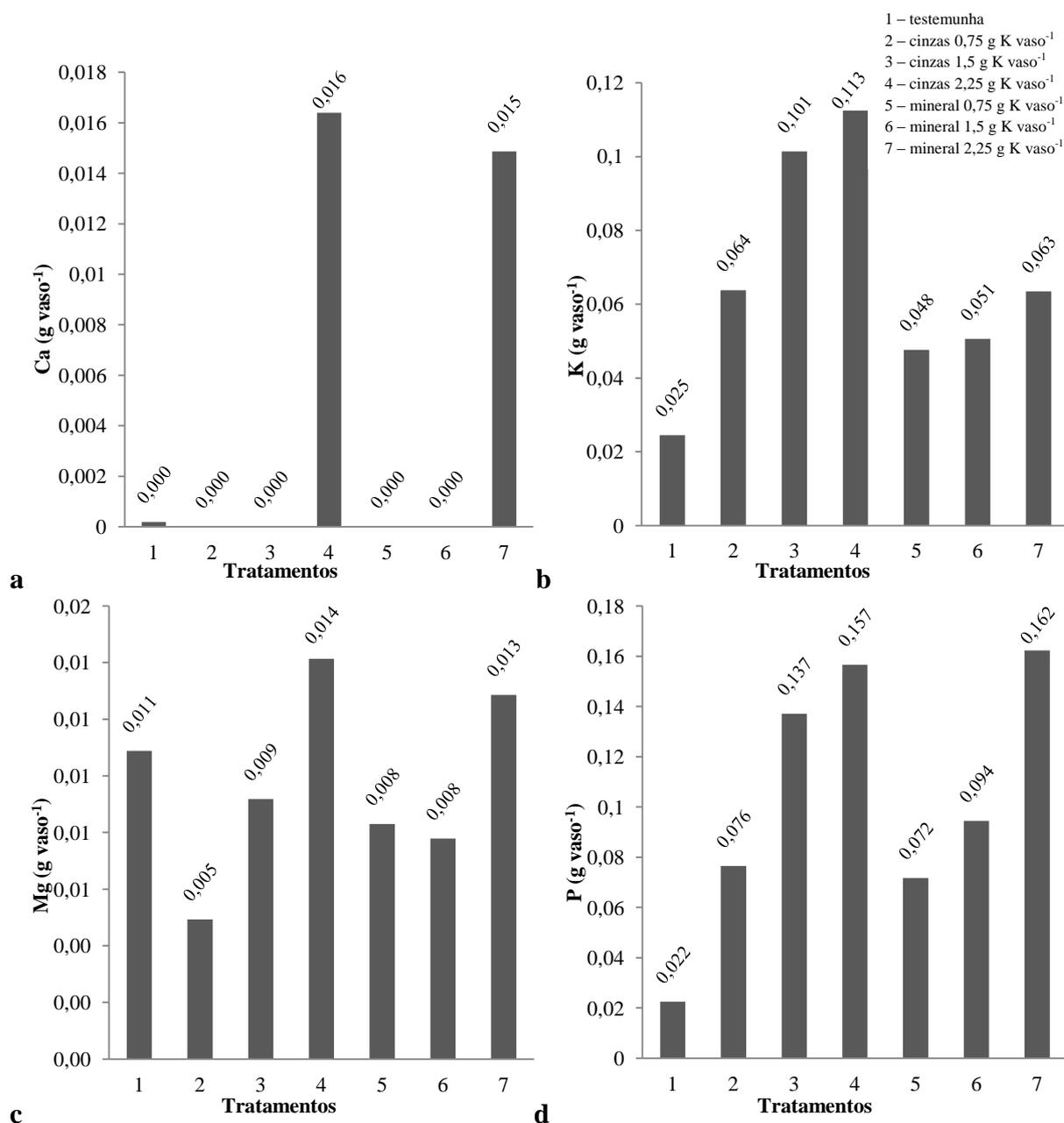
As análises de P demonstram um aumento da absorção que acompanhou o acúmulo de biomassa em todos os tratamentos, em uma menor proporção nos tratamentos com menor dosagem com ambos os produtos. Para este elemento, não houve nenhuma diferença estatística, nem entre cada dosagem, nem entre cada produto, exceto nas últimas coletas, onde com o maior nível de dosagem, o tratamento que levou cinzas foi inferior. Provavelmente, com os níveis de outros cátions mais satisfatórios para o desenvolvimento da planta, não houve uma dificuldade maior do sistema radicular para a absorção ou predileção em determinado elemento, o que fez com que as curvas apresentassem a mesma tendência.

Com relação aos elementos Ca e Mg introduzidos ao solo, as respostas foram um pouco diferentes quanto à absorção quantitativa. Pode-se ver nas figura 12-a e c que os tratamentos com adubos minerais comerciais tiveram certa superioridade aos tratamentos com cinzas, apesar de apresentarem comportamento parecido. Este resultado contrasta com o resultado para os mesmos elementos no experimento 1, o que mostra que as cinzas foram capazes de fornecer mais nutrientes por ser uma substância heterogênea e composta de vários elementos. Provavelmente a solubilidade e a configuração molecular destes elementos podem afetar a sua absorção, já que nas cinzas estão dispostos em óxidos e hidróxidos de Ca e Mg, os quais podem reagir rapidamente na solução do solo. Mesmo assim, o comportamento da curva mostra que as cinzas podem ser absorvidas de maneira semelhante ao adubo comercial, o que reforça a possibilidade de sua utilização.

A maneira do que ocorreu com o experimento 1, ao se analisar a figura 12-b e c, pode-se observar que enquanto a quantidade de K absorvido decresceu da primeira para a segunda coleta, a de Mg ascendeu, nas dosagens com maiores níveis com ambos os produtos avaliados. Desta coleta para a seguinte, ocorreu o contrário, ou ao menos uma oscilação na tendência da quantidade absorvida de K, o que evidencia mais uma vez a relação entre os dois elementos.

As maiores quantidades de nutrientes absorvidas ocorreram nas primeiras coletas, principalmente entre a segunda e terceira, pois o sistema radicular pode ter influenciado estes resultados, pois na primeira coleta não deu tempo suficiente para um desenvolvimento mais amplo, explorando todo o conteúdo do vaso. Após o seu desenvolvimento, a absorção se mostrou mais intensa, até que as quantidades dos elementos no solo foram se extinguindo com a retirada da parte aérea, decrescendo cada vez mais.

Nas raízes (figura 13), o comportamento em relação à parte aérea foi o mesmo, com maiores quantidades absorvidas nos tratamentos com cinzas, de uma maneira geral. Quanto as dosagens, a medida que a dose foi maior, mais a planta absorveu. A planta indicadora foi responsiva à adição dos nutrientes e não houve dificuldade aparente na absorção dos elementos contidos nas cinzas. Os resultados para o elemento Ca em algumas dosagens não foram detectados pela aparelhagem laboratorial, pois exibiram mínimas quantidades.



**Figura 13:** Quantidade de macronutrientes de raízes extraídos por *B. decumbens* cultivados em vasos em ambiente externo por 12 meses (EXPERIMENTO 2).

Com a elevação das doses, a planta respondeu em acúmulo de biomassa acumulada, com um pico de acúmulo de biomassa seca, principalmente nos tratamentos com dosagens maiores, entre os 180 e 240 dias de desenvolvimento, com um decréscimo após este período até o final do experimento. Esta tendência foi observada na quantidade de Ca e P absorvida, também após um aumento na absorção de K. O resultado permite dizer que com a quantidade de nutrientes melhor distribuído, a absorção de elementos essenciais também é melhor distribuída, o que reflete no desenvolvimento da planta com o tempo, quanto ao acúmulo de biomassa.

Os resultados permitem dizer que, como material alternativo, as cinzas podem ser empregadas como fonte de nutrientes para a cultura, de forma que foi obtido produção adequada com o seu uso, com respostas em cada nível de dosagem semelhante ao adubo convencional. O emprego das cinzas, em conjunto ou não com adubos comerciais, pode fazer

com que os custos com insumos sejam reduzidos e o reaproveitamento deste “rejeito” beneficia o meio ambiente, com um fim mais adequado do que o descarte indiscriminado.

Nos dois experimentos, a quantidade de nutrientes encontrados nas raízes demonstraram a necessidade da planta de fornecer elementos para atuarem no crescimento da parte aérea, pois a cada coleta, elementos foram extraídos e tão logo eram absorvidos pelas raízes, translocaram-se para nova formação de parte aérea. Em ambos foram extraídos em grandes proporções, independentemente do tipo de produto de acordo com cada porção adicionada por níveis de dosagem. Segundo Malavolta (MALAVOLTA et al., 1997), os elementos são absorvidos preferencialmente nesta ordem:  $\text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$ , o que condiz com os resultados.

De qualquer forma, os resultados mostram que as cinzas podem promover o crescimento das plantas e não são prejudiciais ao seu desenvolvimento, muito pelo contrário.

### 3.6 Avaliação das cinzas da queima de biomassa de capim-elefante utilizado como fonte energética como corretivo de solo. EXPERIMENTO 3

Ao interpretar as análises feitas no solo utilizado no experimento, percebe-se que se tratou de um solo de baixa fertilidade, assim como o dos experimentos anteriores. Apesar de ter se objetivado um solo mais ácido, o nível de pH encontrado foi de um solo moderadamente ácido, com níveis baixos de  $\text{Al}^{3+}$  também (CAMPOS et al., 2010).

A análise feita após a condução deste experimento demonstrou que não houve modificações nos resultados do tratamento que não foi adicionado qualquer quantidade ou tipo dos produtos (testemunha), como a comparação da tabela 5 com a tabela 7.

**Tabela 13:** Análise de solo após 20 e 40 dias de incubação dos tratamentos.

Solo	pH	$\text{Al}^{3+}$	$\text{H}+\text{Al}^{3+}$	Ca	Mg	P	K	N
Trat.		----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----			mg $\text{dm}^{-3}$			%
Coleta aos 20 dias após adição do produto								
0 t $\text{ha}^{-1}$	5,46aE	0,03bA	1,28aA	0,62aA	0,20aD	6,53aD	19,25aB	0,03aA
2 t $\text{ha}^{-1}$ calc	8,35aC	0aA	0aB	0,62aA	1,39aB	7,28bD	17,50aB	0,03aA
2t $\text{ha}^{-1}$ cinz	7,79aD	0aA	0aB	0,57aA	1,15aC	306,1aB	815,00aA	0,03aA
4 t $\text{ha}^{-1}$ calc	9,56aA	0aA	0aB	0,33aC	2,21aA	8,22bC	29,00aB	0,02aA
4t $\text{ha}^{-1}$ cinz	8,76aB	0aA	0aB	0,45aB	1,29aB	613,6aA	795,00bA	0,03aA
CV(%)	1,82	64,55	33,67	9,48	4,72	9,86	28,26	0
Coleta aos 40 dias após adição do produto								
0 t $\text{ha}^{-1}$	5,31aE	0,04aA	1,23aA	0,53bB	0,20aD	6,69aE	21,75aC	0,03aA
2 t $\text{ha}^{-1}$ calc	8,40aC	0aB	0aB	0,67aA	1,42aB	10,75aD	30,25aC	0,03aA
2t $\text{ha}^{-1}$ cinz	7,84aD	0aB	0,11aB	0,57aB	1,14aC	334,8aB	745,0aB	0,03aA
4 t $\text{ha}^{-1}$ calc	9,56aA	0aB	0aB	0,29aC	2,13aA	14,14aC	22,25aC	0,02aA
4t $\text{ha}^{-1}$ cinz	8,85aB	0aB	0aB	0,30bC	1,13bC	641,5aA	1420,0aA	0,03aA
CV(%)	2,35	64,55	31,99	12,12	8,28	19,85	25,13	0

$\text{Al}^{3+}-\text{H}^++\text{Al}^{3+}$ : titulação; Ca-Mg: absorção atômica; K: fotometria de chama; P: colorimétrico; pH: potenciometria (Nogueira & Souza, 2005).

Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na linha (período) e maiúsculas na coluna (dosagens e tipo de produto), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como não há uma quantidade significativa de N nas cinzas, por ser um elemento que pode ser perdido por volatilização na queima, não houve qualquer modificação de suas quantidades após a condução do estudo, diferentemente com relação aos macronutrientes presentes em grande quantidade nas cinzas.

Os níveis de K foram crescentes com a utilização de cinzas apenas no tratamento com maior dosagem (4 t ha<sup>-1</sup>), diferindo com relação ao tempo (20 e 40 dias). Nos outros tratamentos, não houve diferença em relação às datas de coleta com a utilização dos produtos avaliados. Entretanto, entre a utilização de cinzas e do calcário, houve significativa diferença, ou seja, as cinzas, independentemente da dose aplicada foi muito superior para os níveis de K, em relação aos tratamentos com calcário. Este resultado quanto a este elemento já era esperado, já que as cinzas possuem expressiva quantidade em sua composição.

Para a cultura do capim-elefante, especificamente, é interessante a utilização de um produto que possa fornecer grandes quantidades de K, já que a cultura é considerada uma planta que extrai uma abundante quantia deste elemento durante seu desenvolvimento. A própria procedência das cinzas utilizadas aponta esta característica, já que são provenientes da queima de biomassa de capim-elefante. Porém, altos níveis de K no solo pode causar problemas relacionados com a salinidade da solução do solo, o que pode levar culturas mais sensíveis à queda de produtividade ou até mesmo ao déficit hídrico (PIMENTEL, 1998), mesmo com o fornecimento de água. Portanto, ao se objetivar a adição de cinzas no solo para alterações nos níveis de acidez, deve-se levar em consideração os níveis de outros elementos, como o K, Na ou algum que possa trazer transtornos às propriedades do solo. As cinzas são heterogêneas e dependem da procedência do tipo de planta, do solo que foi cultivado e dos níveis de adubação que a cultura produtora de biomassa energética recebeu.

A utilização de cinzas apresentou uma resposta superior também com relação ao elemento P, com elevação de sua quantidade junto com o aumento da dose, para ambos os produtos, com as cinzas em proporção maior. Somente houve diferença estatística entre as datas de coletas nos tratamentos que levaram a dose de 2 t ha<sup>-1</sup> e 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário, com um aumento com o período de coleta. O calcário pode ter diferenças quanto à solubilidade em sua formulação, variando dessa forma com o período de ocorrência das reações químicas na solução do solo, o que afeta a disponibilidade de um elemento pouco móvel, como o P. Os óxidos e hidróxidos contidos nas cinzas podem ter influenciado a fixação do P no solo, o que pode ter resultado nos dados apresentados pelos tratamentos com cinzas. A alta quantidade também advém de que o Ca foi o elemento base para os cálculos, conseqüentemente, os níveis de P não puderam ser ajustados, já que estão em grandes quantidades nas cinzas.

Os tratamentos com calcário obtiveram níveis mais elevados de Mg em ambas as dosagens, mas não diferindo entre as datas de coleta, exceto pelo tratamento com maior nível de dosagem com cinzas, onde houve um decréscimo significativo. O aumento da dose de cinzas acarretou um aumento na quantidade de nutriente. Como a quantidade de nutrientes no calcário é proporcionalmente muito menor que a utilizada com cinzas, o resultado encontrado pode ser devido a este fator. Comportamento oposto foi encontrado no elemento Ca, que apresentou nos níveis mais altos de dosagem uma menor quantidade nas duas datas analisadas. A complexação deste elemento pode ter relação com o resultado, já que os óxidos e hidróxidos de Ca e Mg reagem com a solução e partículas do solo.

A acidez potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>), apesar de ser considerada agronomicamente baixa desde a análise inicial do solo, apresentou melhora, sendo anulada completamente em todos os tratamentos, inclusive nas duas datas analisadas. Os níveis de Al<sup>3+</sup> apresentou o mesmo comportamento. O benefício do uso das cinzas e do calcário nos níveis de pH obtidos com as análises foi observado em todos os tratamentos. O pH do solo passou de medianamente ácido para alcalino. Isso demonstra o potencial das cinzas como promotor de redução de acidez do solo, assim como o do produto comercial, já consagrado pelo seu uso. Estatisticamente o produto comercial foi mais eficaz na redução da acidez do que as cinzas, em termos de dose, mas não em termos de período de análise. Quanto maior foram os níveis de dosagem, maior foi a redução da acidez, com o calcário tornando o solo mais alcalino a frente das cinzas. Estes resultados contrastam aos de Isbalão (2014), que com cinzas de casca de arroz obteve

um aumento significativo do pH do solo, além de uma velocidade maior nas reações do solo quando comparado ao calcário convencional. No referido estudo, as cinzas passaram por avaliação prévia quanto ao PRNT, portanto, com algum tratamento. Neste estudo as cinzas foram adicionadas ao solo como se tivesse sido retirada imediatamente do forno, para que se averiguasse uma aplicação mais condizente com o ambiente do agricultor.

Atenção deve ser dada ao destino dos resíduos, como as cinzas, pois a redução da acidez é benéfica até um certo ponto para cada cultura, com disponibilização ou não de algum nutriente. Como exemplo pode-se citar o P, que com o aumento do pH até a neutralidade se torna mais disponível, decrescendo essa disponibilidade conforme aumenta a alcalinidade. Da mesma forma para o N, S e B. Elementos como o Fe, Cu, Mn e Zn tem a disponibilidade reduzida com o aumento do pH, o que pode reduzir a toxidez por Mn e Zn. O pH na faixa de 6,0 a 6,5, das duas uma: ou o elemento apresenta-se com disponibilidade máxima (macronutrientes) ou afastada do mínimo (micronutrientes) (MALAVOLTA, 1997).

Desta forma, os resultados indicam uma resposta positiva com o uso das cinzas, o que possivelmente pode reduzir custos com transporte e compras com insumos para o agricultor, além de fazer com que se possa reaproveitar um resíduo proveniente da produção de energia. A preocupação com o local onde o resíduo deve ser depositado, caso não haja o aproveitamento, também permeia preocupações com o observado, pois alterações nas propriedades químicas do solo pode gerar algum desequilíbrio indesejável em termos socioambientais.

Uma questão relevante, também observado nos outros experimentos, diz respeito ao volume de cinzas que são necessárias para se obter características equitativas com o produto comercial, o calcário. Isto pode levar a não viabilidade de seu uso, já que para uma determinada área, a quantidade de calcário seria expressivamente menor. O vento, a umidade, o local de armazenamento e o veículo para transporte podem afetar a viabilidade de se utilizar as cinzas. Trata-se de partículas muito finas e para ter o efeito semelhante aos produtos convencionais, pode ser necessário um volume exacerbado, podendo modificar características físico-químicas do solo. Um maquinário que está projetado para a utilização de insumos já conhecidos pode não está apto para a utilização das cinzas.

O ideal sobre a utilização das cinzas seria nas proximidades agrícolas ou mesmo na própria propriedade em que foi gerado o resíduo. Desta forma, os gastos poderiam ser reduzidos com o transporte e aquisição de certa quantidade de insumos, o que favoreceria o menor consumo de combustíveis fósseis no processo de produção agrícola, para uma agricultura mais sustentável e consciente com a problemática ambiental atual.

## 4 CONCLUSÕES

A produção de biomassa de *B. decumbens* foi maior quando utilizado as cinzas provenientes de capim-elefante em relação ao uso de adubos convencionais.

As cinzas provenientes de capim-elefante são adequadas para a utilização como fonte de nutrientes para a produtividade de plantas, pois obteve semelhante ou maiores quantidades de nutrientes essenciais absorvidos pela planta indicadora (braquiaria).

As cinzas de capim-elefante foram uma alternativa para redução da acidez do solo, com a vantagem de suprir com nutrientes o solo alvo de aplicação, e redução da quantidade de insumos utilizados para a correção e nutrição de solos.

## **CAPITULO II**

**UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE BIOMASSA VEGETAL PROVENIENTES DE  
FORNOS DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA COMO FONTE DE  
NUTRIENTES PARA A CULTURA DO CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum  
purpureum* Schum.).**

## RESUMO

CRUZ, Luis Cláudio Jordão da. **Utilização de cinzas de biomassa vegetal provenientes de fornos da indústria de cerâmica como fonte de nutrientes para a cultura do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.)**. 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A produção e o consumo de energia no mundo, nos últimos anos têm sofrido diversas modificações, com o intuito de uma produção energética mais limpa. Grande parte da energia térmica consumida é gerada através da biomassa de culturas que proporcionam alta produtividade, como alternativa à utilização de combustíveis fósseis como o gás natural e o carvão mineral, que são fontes de energia não renováveis, portanto, responsáveis pelo chamado aquecimento global. A indústria de cerâmica necessita de combustível para gerar calor e possibilitar sua produção, mas a incineração de biomassa para energia térmica gera um resíduo muitas vezes descartado de maneira inadequada, as cinzas. O capim-elefante é uma planta da família Poaceae que possui alta capacidade de produção de biomassa por unidade de área e tempo, que, como outras gramíneas, possuem altas taxas de absorção e acúmulo de nutrientes, principalmente o potássio. Tornou-se uma interessante fonte de biomassa para fins agroenergéticos e o genótipo Cameroon é um dos que são mais difundidos e que possuem maiores rendimentos neste sentido. O objetivo do estudo foi investigar a utilização de cinzas provenientes de biomassa vegetal queimada em fornos da indústria de cerâmica, como fonte de nutrientes para a cultura do capim-elefante, com base em doses de potássio. O delineamento adotado foi o em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, onde nas parcelas foram avaliados três tratamentos (um com cinzas e em outro, com adubo mineral comercial na forma de KCl, restando um último tratamento testemunha, privado de qualquer adubação potássica), e nas subparcelas duas épocas de colheita de capim-elefante (aos 180 e aos 360 dias após plantio), distribuídos em 4 blocos. O experimento de campo não mostrou diferenças no rendimento de biomassa ou na absorção de nutrientes pelo genótipo de capim-elefante Cameroon entre as fontes de nutrientes utilizadas.

**Palavras-chave:** biomassa, bioenergia, cinzas.

## ABSTRACT

CRUZ, Luis Cláudio Jordão da. **Use of plant ashes derived from ceramic industry furnaces as a source of nutrients for the elephant grass crop (*Pennisetum purpureum* Schum.)**. 66p. Dissertation (Master Science in Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The production and energy consumption in the world, in recent years have undergone various modifications in order to cleaner energy production. Much of the consumed heat energy is generated by the biomass crops that provide high productivity, as an alternative to using fossil fuels like natural gas and coal, which are non-renewable energy sources, therefore, responsible for the so called global warming. The ceramic industry needs fuel to generate heat and allow its production, but the incineration of biomass for thermal energy generates a waste often disposed of improperly, the ashes. The elephant grass is a Poaceae family plant that has high biomass production capacity per unit area and time, which, like other grasses, have high rates of absorption and accumulation of nutrients, particularly potassium. It has become an interesting source of biomass for agro-energy purposes and Cameroon is one of the genotype that are more widespread and have higher incomes in this regard. The aim of the study was to investigate the use of ash from burned plant biomass in the ceramics industry furnaces as a source of nutrients for the elephant grass culture, based on potassium levels. The design adopted was the randomized blocks with four replications in a split plot in time, where the plots were evaluated three treatments (one with ash and another with commercial mineral fertilizer in the form of KCl, leaving a final treatment witness, deprived of any potassium fertilization), and the subplots two elephant grass harvest time (at 180 and 360 days after planting), divided into 4 blocks. The field trial showed no difference in the yield of biomass and nutrient uptake by Cameroon elephant grass genotype between the used nutrient sources.

**Key words:** biomass, bioenergy, ashes.

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil é muito comum a utilização de biomassa para cocção de alimentos e fabricação de cerâmica. A utilização de biomassa é uma prática ancestral, que permitiu grandes avanços tecnológicos na história mundial da humanidade, como da manufatura de utensílios. Um dos primeiros empregos da biomassa energética foi para adquirir calor e luz.

Entende-se por biomassa derivados de materiais orgânicos, animal ou vegetal, utilizados como combustíveis para geração de energia e calor. As fontes mais utilizadas são provenientes de matéria prima vegetal, como a lenha, o carvão vegetal, a serragem, casca de arroz, capim-elefante, entre outras. As cinzas provenientes da queima de biomassa vegetal possuem quantidades significativas de elementos químicos, que foram absorvidos do solo pela planta. Muitos destes elementos são nutrientes que se retornassem ao solo poderiam servir para repor aqueles que são extraídos em maiores quantidades como potássio, cálcio e magnésio. No entanto as cinzas são muitas vezes depositadas como lixo em áreas inapropriadas para o descarte destes resíduos. Com esta destinação os nutrientes que poderiam ser utilizados como fonte complementar de fertilizante são desperdiçados.

Os nutrientes minerais, principalmente os macronutrientes N, P, K são componentes essenciais para o desenvolvimento fisiológico normal de uma planta, com respostas de produtividade positivas de acordo com os níveis ótimos para cada cultura. Segundo dados da ANDA, cerca de 65% dos adubos são importados. No caso do potássio este percentual é ainda maior, com 90% importado de outros países. Assim o reaproveitamento das cinzas em complemento a aplicação de fertilizantes pode contribuir para uma redução na quantidade de adubos o que se reflete na redução de custos com o deslocamento do produto até o consumidor final, neste caso ao agricultor.

Os estudos para avaliar os potenciais efeitos da aplicação destas cinzas no solo e nutrição de plantas são importantes antes deste resíduo ser considerado como seguro, para estabelecer as melhores indicações para aplicação no campo. A reutilização das cinzas para o plantio da própria cultura do capim-elefante poderia reforçar a ciclagem de nutrientes no agroecossistema, com uma resolução de destino do resíduo sólido mais apropriado e melhor reaproveitamento dos nutrientes.

O objetivo do estudo foi investigar a utilização de cinzas provenientes de biomassa vegetal queimada em fornos da indústria de cerâmica, como fonte de nutrientes para a cultura do capim-elefante.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área Experimental e Implantação do Experimento

O experimento foi instalado em setembro de 2013, na área experimental Terraço do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB), Embrapa Agrobiologia, localizada na Baixada Fluminense, no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro (22°49'S, 43°39'W). Para o cultivo foi utilizado o genótipo de capim-elefante Cameroon, em uma área onde o solo foi classificado na ordem de Planossolo, extremamente deficiente em nutrientes, principalmente em nitrogênio (tabela 14).

**Tabela 14:** Análise de Solo para cultivo do genótipo Cameroon utilizando cinzas de biomassa vegetal utilizada em forno para fins energéticos:

Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	V	P	K
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%		mg dm <sup>-3</sup>
0-20	5,47	0,80	0,31	0,21	2,33	33	3	16
20-40	5,22	0,67	0,19	0,45	2,16	28	2	6

Al<sup>3+</sup>-H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: titulação; Ca-Mg: absorção atômica; K: fotometria de chama; P: colorimétrico; pH: potenciométrica (Nogueira & Souza, 2005).

O genótipo Cameroon utilizado no estudo foi oriundo do banco de germoplasma da Embrapa Agrobiologia. Os toletes utilizados no plantio foram provenientes do terço superior dos colmos da planta e apresentavam dois nós germinativos posicionados dentro do sulco. O plantio foi feito em 5 linhas de 5 m com espaçamento de 0,8 m, em 12 parcelas, totalizando 20 m<sup>2</sup> em cada parcela, ocupando uma área de 312,8 m<sup>2</sup>.

Como adubação, foram distribuídos dentro dos sulcos 150 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, como superfosfato simples, e 40 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR12, como fonte de micronutrientes. Após a germinação, foram aplicados 150 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de ureia, parcelados em três ocasiões (aos 15, aos 45 e aos 75 dias após o plantio). Esta adubação foi feita em comum em todos os tratamentos.

Os tratamentos experimentais foram feitos baseados no nutriente K, como dose de referência, já que, segundo análises, apresentou grande quantidade nas cinzas (Tabela 9). Apesar da grande quantidade de Ca presente nas cinzas, não foi possível utilizá-lo como referência para a dosagem dos tratamentos, já que a área experimental foi calcareada em períodos anteriores à realização e idealização do experimento. Em um dos tratamentos foram utilizados doses de cinzas provenientes de biomassa vegetal queimada em fornos da indústria de cerâmica e em outro tratamento foi utilizado o cloreto de potássio (KCl), nas quantidades de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em ambos. Em um terceiro tratamento não foi utilizado nenhum tipo de fertilizante potássico, como testemunha.

As cinzas foram coletadas no município de Campos dos Goytacazes-RJ, provenientes de fornos da indústria de cerâmica, e apresentou-se como um material muito heterogêneo, de difícil caracterização, pois em seu conteúdo bruto, foram achados pedaços de pregos, maçanetas e dobradiças de portas, pedaços de metais fundidos, pedras e fragmentos de carvão. Todavia, o material tinha procedência madeireira, porque para a queima nos fornos, são utilizados quaisquer tipos de materiais vegetais, como restos de madeira de obras, restos de poda urbana, lenha, entre outros combustíveis de biomassa.

As cinzas trazidas do referido município, foram peneiradas em malha de 2mm, nas dependências da Embrapa Agrobiologia, homogeneizada manualmente e, após enviadas

alíquotas ao Laboratório de Química Agrícola para análises, obteve-se os resultados da tabela 15.

**Tabela 15:** Caracterização química das cinzas de biomassa vegetal derivada de forno de indústria cerâmica localizada em Campos dos Goytacazes-RJ:

Ca	K	Mg	P
$\text{g kg}^{-1}$			
93,25	34,2	18,45	3,35

Ca e Mg: Absorção atômica; K: fotometria de chama; P: colorímetro. (Nogueira & Souza, 2005).

## 2.2 Delineamento experimental e tratamentos.

O delineamento adotado foi o em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Nas parcelas foram avaliados três tratamentos (em um foi utilizado as cinzas para fornecer como nutriente para a cultura o elemento K e em outro, com a mesma finalidade, foi utilizado o KCl, restando um último tratamento testemunha, privado de qualquer adubação potássica) e nas subparcelas duas épocas de colheita de capim-elefante (aos 180 e aos 360 dias após plantio), distribuídos em 4 blocos.

## 2.3 Coletas de biomassa e análises químicas.

Foram feitas duas coletas após seis meses de cultivo entre cada coleta, uma em março e outra em setembro de 2014, totalizando um ano o experimento. Em cada ocasião foi feito o corte rente ao solo de uma área de 3 m nas 3 linhas centrais (7,2 m<sup>2</sup>) em cada parcela, seguindo a pesagem total dessa biomassa retirada. Dentre essa biomassa, foi retirada aleatoriamente 10 plantas de capim-elefante e separadas em frações de colmo, folha e palha, seguido de pesagem dessas frações. De cada fração foi retirado também sub-amostras que foram acondicionados em sacos de papel, pesados e levados à estufa de circulação forçada até a estabilização do peso, para a determinação de matéria seca.

As frações extraídas foram moídas em moinho de facas tipo Willey, peneira 2 mm, analisadas quanto às quantidades de K, Mg, Ca e P no Laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia, como descrito no Capítulo anterior, dos itens 2.1.1 ao 2.1.5.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Produtividade de biomassa do capim-elefante (genótipo Cameroon) cultivado por 12 meses em Planossolo com dois tipos de produtos como fertilizantes.

O genótipo de capim-elefante foi cultivado durante 12 meses em um solo de baixa fertilidade (Planossolo). Os resultados da biomassa seca produzida durante este período de um ano estão apresentados na tabela 16.

**Tabela 16:** Produção média de biomassa seca de capim-elefante, genótipo Cameroon, em 12 meses de cultivo.

Tratamentos	Mg MS ha <sup>-1</sup>								Ano
	180 DAP (setembro 2013 a março 2014)				360 DAP (março à setembro 2014)				
	Colmo	Palha	Folha	Total	Colmo	Palha	Folha	Total	
Testemunha	14,2aA	3,5aA	6,1aA	23,7aA	5,9bA	1,9bA	2,8bA	10,6bA	34,3A
KCl	16,4aA	3,6aA	6,7aA	26,7aA	7,8bA	2,5bA	4,0bA	14,3bA	41,0A
Cinzas	14,1aA	3,4aA	6,0aA	23,5aA	5,8bA	2,0bA	3,0bA	10,8bA	34,2A
C.V.(%)	17,3	16,2	16,8	16,1	12,5	11,0	20,5	11,0	

Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As letras minúsculas retratam a comparação estatística entre as duas coletas nas linhas em cada parte da planta e as letras maiúsculas entre os tratamentos nas colunas.

Nos primeiros seis meses de cultivo (primeira colheita) não houve diferença estatística entre os tratamentos, tanto entre as frações avaliadas quanto entre a pesagem total. No período seguinte, após mais seis meses de cultivo, na segunda colheita pôde-se perceber o mesmo comportamento entre as frações e o peso total. A produção de biomassa total foi considerada satisfatória levando-se em consideração os resultados obtidos em estudos anteriores (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008; FLORES, 2009; ZANETTI, 2010). Provavelmente, a avaliação no período de um ano não foi suficiente para que se pudessem tirar maiores conclusões sobre o comportamento na utilização de cinzas e adubo convencional.

O tratamento que utilizou cinzas e o que não teve fertilização teve um rendimento de biomassa inferior ao que recebeu adubação por fertilizante mineral convencional. Porém, avaliando-se os 12 meses de cultivo, não houve diferença significativa, segundo as análises estatísticas, entre os tratamentos.

Entre uma colheita e outra, houve diferença estatística, com a primeira colheita com rendimento de biomassa bem superior. Essa diferença foi devido ao período diferente de estação climática do ano, com a primeira no final do verão e a segunda no início da primavera, passando por uma estiagem, como pode ser observado no anexo C, com índices pluviométricos muito baixos.

Provavelmente, um período maior se faz necessário para uma melhor avaliação das cinzas como alternativa para adubação para as culturas, comparado ao produto comercial disponível e mais utilizado no mercado. Sucessivos cortes podem apontar o desenvolvimento e o comportamento da planta, como no experimento feito por Morais et al. (2008), que está no campo por muitos anos, utilizando, entre outros genótipos de capim-elefante, o Cameroon.

### 3.2 Quantidade de nutrientes absorvidos pelo capim-elefante cultivado em Planossolo durante 12 meses com a utilização de duas fontes de nutrientes.

O capim-elefante, assim como uma gama de gramíneas, é considerado uma planta que extrai grandes quantidades de nutrientes do solo. A produtividade de biomassa está intimamente relacionada com a quantidade de nutrientes disponíveis no solo, assim como a capacidade de aproveitamento da planta quanto à sua absorção. Na tabela 17 são apresentados os resultados das análises de partes da planta de capim-elefante e suas respectivas quantidades de nutrientes absorvidas do solo e das fontes de nutrientes utilizadas.

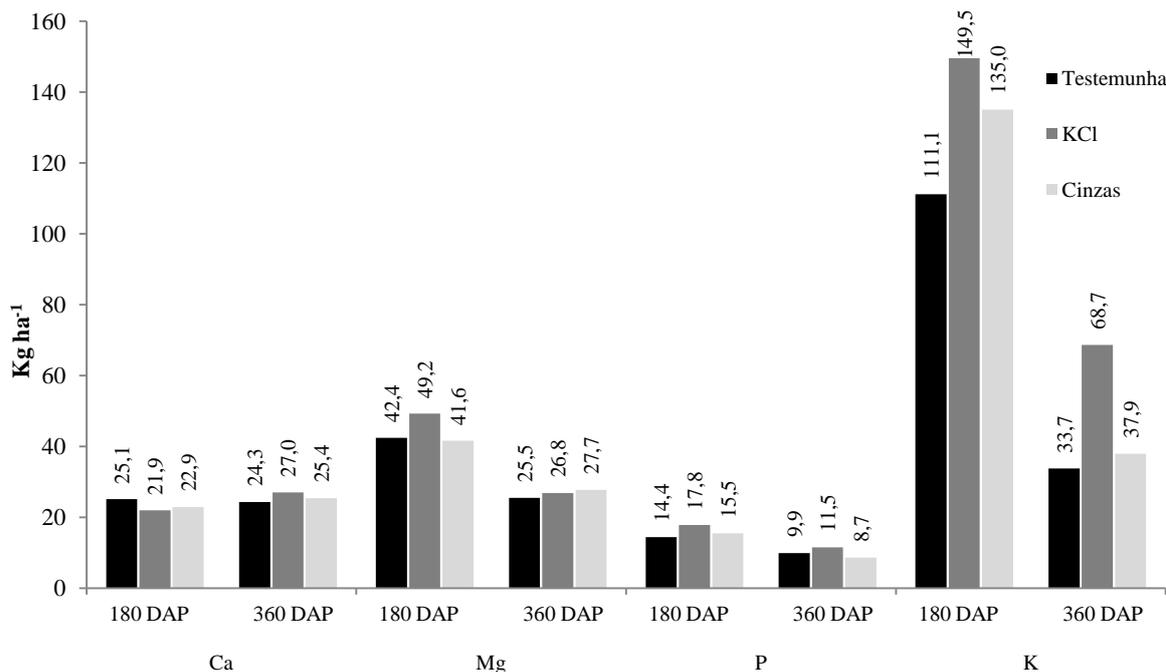
**Tabela 17:** Quantidades de nutrientes extraídos por partes da planta de capim-elefante, genótipo Cameroon.

		----- kg ha <sup>-1</sup> -----							
		180 DAP (setembro 2013 a março 2014)				360 DAP (março à setembro 2014)			
Elem.	Trat.	Colmo	Palha	Folha	Total	Colmo	Palha	Folha	Total
Ca	testemunha	0,0bA	19,99aA	5,08aA	25,07aA	2,58aA	15,97aA	5,75aA	24,30aA
	KCl	0,0bA	17,20aA	4,73aA	21,93aA	2,39aA	18,98aA	5,60aA	26,97aA
	Cinzas	0,0bA	18,20aA	4,68aA	22,88aA	2,69aA	17,22aA	5,49aA	25,40aA
	CV(%)	41,17	23,03	27,44	22,18	43,62	19,26	11,97	16,31
Mg	testemunha	22,79aA	13,20aA	6,40aA	42,39aA	10,30bA	10,23bA	4,93aA	25,46bA
	KCl	31,25aA	11,82aA	6,16aA	49,39aA	13,53bA	9,34aA	3,94bA	26,81bA
	Cinzas	22,18aA	13,04aA	6,39aA	41,61aA	12,25bA	11,06aA	4,39bA	27,69bA
	CV(%)	36,75	32,45	34,82	33,85	23,96	13,79	21,3	15,54
P	testemunha	7,72aA	2,22aA	4,46aA	14,40aA	4,85bA	1,81aA	3,25aA	8,66bA
	KCl	10,40aA	2,12aA	5,25aA	17,77aA	6,15bA	1,48bA	3,89aA	11,52bA
	Cinzas	8,36aA	2,17aA	4,94aA	15,48aA	4,09bA	1,36bA	3,21bA	8,66bA
	CV(%)	33,90	22,86	15,4	24,97	16,23	18,23	22,83	14,31
K	testemunha	54,35aA	11,07aA	45,69aA	111,1aA	8,0bA	6,09aA	19,65bA	33,74bA
	KCl	80,56aA	12,19aA	56,72aA	149,5aA	35,34bA	3,83bA	29,49bA	68,66bA
	Cinzas	66,81aA	12,58aA	55,62aA	135,0aA	14,22bA	2,46bA	21,18bA	37,87bA
	CV(%)	43,42	71,61	27,2	25,66	50,70	51,05	37,63	41,85

Médias seguidas por uma mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As letras minúsculas mostram a comparação estatística entre as duas coletas nas linhas por cada parte da planta em cada tratamento e as letras maiúsculas entre os tratamentos nas colunas, também por parte da planta amostrada.

Os dados do elemento Ca na fração colmo na primeira colheita não foram detectados nos equipamentos laboratoriais do Laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia, portanto, a diferença estatística entre as coletas foi devido a este fator. Ainda para o elemento Ca, nas porções de palha e folha não houveram diferenças estatísticas entre uma colheita e outra, tão pouco entre os tratamentos, assim como nas análises totais da planta. O resultado demonstrou que o genótipo Cameroon possui a capacidade de retirar do solo cerca de 50 kg de Ca ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Na primeira colheita não houve diferença significativa entre as frações do capim-elefante, mas entre uma colheita e outra, a fração colmo da primeira colheita foi significativamente maior, quanto ao acúmulo deste nutriente, do que a segunda colheita.



**Figura 14:** Quantidade de nutrientes encontrados na parte aérea por colheitas pelo genótipo Cameroon.

Conforme é apresentado na Figura 14, houve um decréscimo na quantidade de nutrientes encontrados de uma colheita para outra, exceto com relação ao elemento Ca nos tratamentos com KCl (mineral) e cinzas, com um acréscimo do primeiro semestre para o segundo de 22,98% e 10,99%, respectivamente, onde no tratamento testemunha, houve decréscimo na quantidade de 3,06%. O elemento Mg teve um decréscimo de quantidade encontrada de 39,93%, 45,54% e 33,44%, respectivamente para os tratamentos testemunha, com KCl e com cinzas. Com a mesma tendência, para a quantidade encontrada de P houve o decréscimo de 31,14% no tratamento testemunha, 35,15% no tratamento com KCl e 44,06% no tratamento com cinzas. Houve, proporcionalmente um decréscimo muito maior entre as colheitas no que se refere ao K, com diminuição de 69,63% no tratamento testemunha, 54,07% no tratamento com KCl e 71,95% no tratamento com cinzas.

## **4 CONCLUSÕES**

No presente estudo a produção de biomassa do capim elefante no campo não respondeu a aplicação das fontes de nutrientes utilizadas, ou seja, com a aplicação de cinzas ou de fertilizante mineral KCl.

## CONCLUSÕES GERAIS

As cinzas provenientes de capim-elefante podem ser utilizadas como fonte de nutrientes para as culturas, pois ao serem adicionadas ao solo, proporcionaram para *B. decumbens* acúmulo de biomassa e quantidades extraídas de elementos satisfatórios quando comparada aos adubos minerais comerciais.

A utilização de cinzas como corretivo de solo é eficaz, não só para diminuição de acidez e elevação do pH, mas também para o fornecimento de nutrientes para plantas. Porém, análises prévias e cautela quanto ao seu uso no solo devem ser tomadas para que não haja desequilíbrio nos processos fisiológicos de absorção de elementos e no ambiente biótico do solo.

Os resíduos descartados dos fornos da indústria de cerâmica contêm significativas quantidades de elementos químicos que podem ser utilizados no solo para prover nutrientes para a cultura do capim-elefante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL G., KOCH C.B. & BORGGAARD O.K. Weathering intensity controlling sustainability of ultisols under shifting cultivation in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh. **Soil Science**, USA. v.169, n.9, p.663–674. Set. 2004.
- ALMEIDA, M. M. B. et al. Determinação de nutrientes minerais em plantas medicinais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, SP. v.22, n.1, p. 94-97. jan./abr. 2002.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Disponível em:<<http://www.anda.org.br>>. Acesso em: 25 fev. 2013.
- ANICER. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Disponível em:<<http://www.anicer.com.br>>. Acesso em: 02 jan. 2013.
- BASU, M.; PANDE, M.; BHADORIA, P.B.S. & MAHAPATRA, S.C. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. **Progress in Natural Science**. Elsevier Ltda. v.19, n.10, p.1173- 1186. out. 2009.
- BP. British Petroleum Statistical Review of World Energy 63<sup>rd</sup> edition. June 2014. Disponível em < <http://www.bp.com>>. Acesso em: 30 jun. 2014.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico do Petróleo e do Gás Natural 2013. Disponível em < <http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 29 jun. 2014.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2013. Brasília: DNPM/MME, 2013. 137 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. PNM-2030. Plano Nacional de Mineração 2030. Brasília: MME, 2010.
- CAMPANHARO, M.; MONNERAT, P.H.; RIBEIRO, G. & PINHO, L.G. da R. Utilização de cinza de madeira como corretivo de solo. In: FertBio 2008. **Anais...** Londrina, 2008.
- CAMPOS, D.V.B. et al. Adubos e Corretivos. In: FREIRE, L.R. et al. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Ed. Universidade Rural, 2013. 107-130p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Matriz energética e emissão de gases de efeito estufa: Fatos sobre o Brasil. Brasília - DF, 2008. Disponível em:<[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_24/2012/09/06/291/20121130180435716397a.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/06/291/20121130180435716397a.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2013.
- DAHER, R.F. et al. Introdução e Avaliação de Clones de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.29, n.5, p. 1296-1301. 2000.
- DU PREEZ, C.C.; STEYN J.T. & KOTZE, E. Long-term effects of wheat residue management on some fertility indicators of a semi-arid Plinthosol. **Soil and Tillage Research**. v.63 i.1-2, p.25–33. Dez. 2001.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FLORES, R. A. **Produção de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado:** resposta a adubação nitrogenada e idade de corte. 2009. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

FREIRE, L.R. et al. Análise química de amostras de terra. In: FREIRE, L.R. et al. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Ed. Universidade Rural, 2013. 86-105p.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J.A.; GONZALEZ-VILA, F.J., ALMENDROS, G. & KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter – a review. **Environment International**. Elsevier Ltda. v.30, n.6, p.855-870. Ago. 2004.

HORTA, C.; LUPI, S.; ANJOS, O. & ALMEIDA, J. Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa - Portugal. v.33, n.2, p.148-159. Dez. 2010.

ISLABÃO, G.O. et al. Rice Husk Ash as Corrective of Soil Acidity. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa-MG. v.38, n.3, p.934-941. Mai./Jun. 2014.

LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. I-Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. 2007. p.01-64.

MALAVOLTA, E. et al. Capítulo 2: Macro e Micronutrientes. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. et al. Capítulo 3: Absorção, Transporte e Redistribuição. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319 p.

MANLIO S.F.; SOUZA, S.R. Absorção de Nutrientes. In: MANLIO S.F. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=1479>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

MEURER, E.J. II-Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. 2007. p.65-90.

MORAIS, R. F. **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**. 2008. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - UFRRJ, Seropédica, RJ.

MORAIS, R. F.; QUESADA, D. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Plant and Soil**. v.356, n.1, p.23-34. Set. 2011.

MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J. de; LEITE, J. M.; SOARES, L. H. de B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Parâmetros qualitativos de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para uso como fonte alternativa de energia. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais...** Gramado, 2007.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

OLIVEIRA, M.C. de. **Gramafante** : uma nova cultivar de capim elefante para o Vale do São Francisco. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 57. Petrolina , PE : Embrapa Semi-Árido. 14p. Dez. 2001.

PIMENTEL, C. Capítulo 1: Assimilação de Carbono. In: PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. p.15-50.

PIMENTEL, C. Capítulo 4: A perda de água pelas plantas e seu controle. In: PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur. 2004. p. 92-118.

PRADO, R.M.; CORRÊA, M.C.M. & NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.24, n.5, p.1493-1500, 2002.

QUEIROZ FILHO, J.L. et al. Produção de matéria seca e qualidade de cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.2, p.262-266, 1998.

QUÉNO, L.M.R. et al. Custo de produção de biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. **CERNE**, Lavras-MG, v.17, n.3, p.417-426, jul./set. 2011.

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. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

QUESADA, D.M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de diferentes genótipos capim elefante para produção de agroenergéticos**. 2005. 65p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

QUESADA, D.M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **Potencial de genótipos de *Pennisetum purpureum* para a alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN)**. Comunicado Técnico Embrapa Agrobiologia, n.51, p.1-9, 2001.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. do; ANDRADE, A. P. A. de; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. dos S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. n. 89, p. 100-106, Abr. 2005.

RENGEL, Z.; BHUPINDERPAL-SINGH. Part II, Cap. 7: The role of crop residues in improving soil fertility. In: MARSCHNER, P. & RENGEL, Z. **Soil Biology – Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems**. Ed. Springer. Berlin. 2007. p.183-214.

ROCHA, E. P. A.; SOUZA, D. F.; DAMASCENO, S. M. Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. VIII

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. **Anais...** Uberlândia, 2009.

SKOOG, D.A. et al. Capítulo 28: Espectroscopia Atômica. In: SKOOG, D.A.; WEST, D. M.; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. **Fundamentos da química analítica**. 8 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. p.796-829.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology on line**, 5ªed. Sunderland: Sinauer. 2010. Disponível em:<<http://5e.plantphys.net/>>. Acesso em: 03 set. 2012.

UNEP. United Nations Environment Programme. The Emissions Gap Report 2012. Nairobi. 2012. Disponível em:<<http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgap2012/>>. Acesso em: 15 fev. 2013.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects: the 2010 Revision, Vol. 1: Comprehensive Tables**. ST/ESA/SER.A/313. 503p. 2011.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. & BODDEY, R. M. **Capim elefante: Uma Fonte Alternativa Promissora para a Produção de Energia**. 2006. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/Capimelefante/](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Capimelefante/)>. Acesso em: 10 fev. 2013.

USGS. **Mineral Commodities Summaries 2014**. United States Geological Survey, Reston, Virginia:2014.

VENKATESH, M.S.; MAJUMDAR, B., KAILASH, K. & PATIRAM. Status of micronutrient cations under various land use systems of Meghalaya. **Journal of Indian Society of Soil Science**. v.51, n.1, p.60–64. Jan. 2003.

XAVIER, D.F. et al. **Caracterização morfológica e agrônoma de algumas cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.)**. Documentos, 60. Coronel Pacheco: Embrapa-CNPGL, 24p. 1995.

XAVIER, D.F.; BOTREL, M. DE A.; VERNEQUE, R.S.; FREITAS, V.P.; BODDEY, R.M. Estabilidade da produção de forragem de cultivares de capim-elefante em solo com baixa disponibilidade de nitrogênio. **Pasturas tropicales**, v. 20, n. 2, p. 35-40, 1998.

YOSHIDA, T.; TURN, S.Q.; YOST, R.S.; ANTAL, M.J. Banagrass vs Eucalyptus wood as feedstocks for metallurgical biocarbon production. **Ind. Eng. Chem. Res.** American Chemical Society. v.47, n.24, p.9882-9888. Nov. 2008.

ZANETTI, et al. **Balanco de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 71. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 18p. 2010.

ZANETTI, J.B. **Identificação de Genótipos de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos**. 2010, 84p. Dissertação ( Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

ZHANG, Y.-H.P. What is vital (and not vital) to advance economically-competitive biofuels productions. **Process Biochemistry**. Elsevier Ltda. v.46, n.11, p.2091-2110. Nov. 2011.

## ANEXOS

**ANEXO A:** Teores de macronutrientes encontrados em *B. decumbens* em seis coletas em casa de vegetação (EXPERIMENTO 1).

Tratamentos (g K vaso <sup>-1</sup> )		Dias após germinação						Raiz
n°	dose	60	120	180	240	300	360	
		K (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	3,00	7,05	0	0	0	0	0,14
2	1,5	14,30	6,20	3,25	3,30	3,50	0	0,27
3	3,0	20,40	14,75	8,50	5,40	4,85	5,20	0,49
4	4,5	18,80	18,00	12,35	6,75	6,25	7,00	0,88
5	1,5	14,00	7,55	4,75	4,05	0	0	0,13
6	3,0	21,40	14,70	10,35	5,95	4,50	0	0,13
7	4,5	24,60	20,90	12,10	6,30	5,25	0	0,26
		Ca (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	2,55	1,75	0	0	0	0	1,14
2	1,5	0,68	3,25	3,70	2,29	1,24	0	0,00
3	3,0	0,35	1,07	0,75	3,06	2,96	2,83	0,27
4	4,5	0,47	0,76	0,22	2,03	2,07	2,42	1,32
5	1,5	0,94	2,84	0,30	0,24	0	0	0,00
6	3,0	0,46	0,87	0,02	0,20	0,14	0	0,00
7	4,5	0,39	0,72	0,00	0,25	0,04	0	0,00
		Mg (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	2,27	1,72	0	0	0	0	0,15
2	1,5	2,22	7,00	4,84	2,21	1,40	0	0,12
3	3,0	1,65	3,58	6,54	6,02	4,79	3,89	0,39
4	4,5	1,48	2,95	4,07	6,38	5,74	5,05	1,08
5	1,5	0,76	1,26	0,77	0,61	0	0	0,06
6	3,0	0,47	0,59	0,46	0,64	1,02	0	0,03
7	4,5	0,40	0,29	0,35	0,43	0,66	0	0,08
		P (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	3,69	4,75	0	0	0	0	0,65
2	1,5	1,35	1,82	2,45	2,85	2,44	0	0,35
3	3,0	0,79	1,20	1,04	1,34	1,34	1,49	0,33
4	4,5	0,81	0,93	1,10	1,19	1,27	1,54	0,53
5	1,5	1,68	2,96	3,03	2,83	0	0	0,49
6	3,0	1,71	2,00	2,21	2,21	2,33	0	0,31
7	4,5	1,63	1,60	2,24	2,20	1,95	0	0,66

\*P.A. = Parte Aérea.

**ANEXO B:** Teores de macronutrientes encontrados em *B. decumbens* em seis coletas externamente à casa de vegetação (EXPERIMENTO 2).

Tratamentos (g K vaso <sup>-1</sup> )		Dias após germinação						Raiz
n°	dose	60	120	180	240	300	360	
		K (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	5,85	4,84	1,64	0,00	0,00	0,00	0,500
2	0,75	7,01	4,72	3,92	4,84	4,75	6,97	0,414
3	2,25	9,75	5,68	4,30	4,41	4,93	7,78	0,420
4	3,0	10,15	6,00	4,88	5,08	5,75	7,60	0,398
5	0,75	8,65	4,08	3,36	3,49	3,80	5,86	0,356
6	2,25	10,50	4,68	3,12	3,23	4,08	5,05	0,286
7	3,0	10,10	4,72	3,56	3,34	4,16	4,55	0,316
		Ca (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	1,58	0,22	0,89	0,00	0,00	0,00	0,004
2	0,75	3,14	7,50	2,40	0,88	0,83	1,16	0,000
3	2,25	2,04	8,46	5,53	2,79	1,50	1,03	0,000
4	3,0	1,72	5,87	5,68	3,91	2,64	2,23	0,058
5	0,75	2,66	9,39	2,30	0,60	0,91	1,64	0,000
6	2,25	2,33	9,11	6,54	4,14	1,56	1,69	0,000
7	3,0	2,00	8,76	7,65	5,65	3,96	3,21	0,074
		Mg (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	2,54	1,40	0,63	0,00	0,00	0,00	0,222
2	0,75	5,58	3,09	1,37	1,54	1,53	2,39	0,032
3	2,25	5,13	5,98	2,28	2,11	2,18	2,52	0,038
4	3,0	4,24	8,12	3,34	2,69	2,80	2,82	0,050
5	0,75	5,31	4,30	1,39	1,16	1,48	2,42	0,062
6	2,25	5,74	7,46	3,48	2,32	2,45	2,91	0,044
7	3,0	5,75	8,54	4,89	4,14	3,54	3,56	0,064
		P (g kg <sup>-1</sup> )						
1	0	1,21	1,30	0,72	0,00	0,00	0,00	0,458
2	0,75	3,63	5,29	2,44	2,91	2,26	2,20	0,496
3	2,25	3,88	6,12	4,23	3,30	3,03	2,69	0,568
4	3,0	3,70	5,43	4,23	3,34	3,54	2,62	0,554
5	0,75	2,94	4,57	2,46	2,19	2,35	2,11	0,536
6	2,25	3,66	5,45	4,27	3,77	3,47	3,67	0,534
7	3,0	4,37	5,70	4,37	4,33	4,35	3,71	0,808

\*P.A. = Parte Aérea.

**ANEXO C:** Índice pluviométrico relativo ao período de cultivo do genótipo de capim-elefante Cameroon em Seropédica-RJ (INMET, 2014).

Precipitação (mm)	Ano		
	Mês	2013	2014
Janeiro	364	61	212,5
Fevereiro	173	145	159
Março	184	210	197
Abril	91	98	94,5
Mai	90	37	63,5
Junho	25	38	31,5
Julho	134	54	94
Agosto	9	25	17
Setembro	40	43	41,5
Outubro	13	22	17,5
Novembro	190	81	135,5
Dezembro	139	39	89
Anual	1452	853	1152,5

Estação Rio – Km 47-Seropédica (INMET)