

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO DE FONTES ALTERNATIVAS DE BIOMASSA CULTIVADAS
EM SOLOS DA CHAPADA DO ARARIPE/PE: NUTRIÇÃO MINERAL,
ATRIBUTOS ENERGÉTICOS E EMISSÃO DE CO₂**

**RECIFE/PE
FEVEREIRO/2106**

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO DE FONTES ALTERNATIVAS DE BIOMASSA CULTIVADAS
EM SOLOS DA CHAPADA DO ARARIPE/PE: NUTRIÇÃO MINERAL,
ATRIBUTOS ENERGÉTICOS E EMISSÃO DE CO₂**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia - Ciência do Solo.

Orientador

Prof. Fernando José Freire

Co – Orientador

Prof. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

**RECIFE/PE
FEVEREIRO/2106**

Ficha catalográfica

O48d Oliveira, Ruthanna Isabelle de
Desempenho de fontes alternativas de biomassa
cultivadas em solos da Chapada do Araripe, PE : nutrição
mineral, atributos energéticos e emissão de CO₂ / Ruthanna
Isabelle de Oliveira. – Recife, 2016.
128 f. : il.

Orientador: Fernando José Freire.
Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia,
Recife, 2016.
Referências.

1. Cana-de-açúcar 2. Capim elefante 3. Bioenergia
4. Gesso 5. Efluxo de co2 I. Freire, Fernando José, orientador
II. Título

CDD 631.4

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA

**DESEMPENHO DE FONTES ALTERNATIVAS DE BIOMASSA CULTIVADAS
EM SOLOS DA CHAPADA DO ARARIPE/PE: NUTRIÇÃO MINERAL,
ATRIBUTOS ENERGÉTICOS E EMISSÃO DE CO₂**

**Tese defendida e aprovada pela banca examinadora em 29 de fevereiro de
2016.**

Presidente da Banca:

Dr. Alexandre Tavares da Rocha, UFRPE

Examinadores:

Dr. Diogo Ardaillon Simões

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto

Dr. Edivan Rodrigues de Souza

Dr. José Antônio Aleixo da Silva

*A minha família,
Maria Janete (in memoriam), José Ramos, Janice e Hanna.
DEDICO E OFEREÇO.*

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Aos meus pais, José Ramos e Maria Janete (*in memoriam*) pelo apoio em todos os momentos;

A Janice, tia, pelo carinho e dedicação e Hanna, irmã querida;

Ao professor Fernando José Freire, pela orientação, conselhos e compreensão;

Ao professor Emídio Cantídio Almeida de Oliveira, pelos ensinamentos;

Aos amigos Patrícia, Jéssica, Maércio e Jailson pela ajuda nos trabalhos em campo e laboratório;

Aos meus amigos Carol, Natália (*in memoriam*), Kellen, Bruna, Janaína, Carla e Hugo, por todos os momentos que passamos juntos;

Ao pessoal do laboratório de Fertilidade do Solo, pela ajuda na realização deste trabalho;

Ao IPA e José Tavares pela parceria na realização da pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão do auxílio financeiro para desenvolvimento da pesquisa;

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudos;

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente pela realização deste trabalho.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA, filha de José Ramos de Oliveira e Maria Janete Souza de Oliveira, nascida em 16 de maio de 1985, em Recife, Estado de Pernambuco. Em dezembro de 2009, diplomou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife, PE. Durante a graduação foi bolsista CNPq, participando de projetos de pesquisa. Em março de 2010 iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal (Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) e recebeu o grau de Mestre em março de 2012. Em março de 2012 ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia (Ciências do Solo) na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 8 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 11 |
| REFERÊNCIAS..... | 18 |
| | |
| CAPÍTULO I - Potencial do gesso para cultivo de gramíneas como fonte de energia de biomassa no Araripe em Pernambuco..... | 23 |
| RESUMO..... | 23 |
| ABSTRACT..... | 25 |
| INTRODUÇÃO..... | 26 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 32 |
| CONCLUSÕES..... | 44 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |
| | |
| CAPÍTULO II - Nutrição de gramíneas produtoras de energia de biomassa cultivadas no Araripe em Pernambuco..... | 49 |
| RESUMO..... | 50 |
| ABSTRACT..... | 51 |
| INTRODUÇÃO..... | 51 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 53 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 58 |
| CONCLUSÕES..... | 75 |
| REFERÊNCIAS..... | 75 |
| | |
| CAPÍTULO III – Indicadores energéticos de gramíneas produtoras de energia de biomassa cultivadas no Araripe em Pernambuco..... | 80 |
| RESUMO..... | 81 |
| ABSTRACT..... | 82 |
| INTRODUÇÃO..... | 83 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 85 |

| | |
|--|-----|
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 90 |
| CONCLUSÕES..... | 104 |
| REFERÊNCIAS..... | 104 |
| | |
| CAPÍTULO IV – Efluxo de CO ₂ do solo em áreas Caatinga, gramíneas e eucalipto no Araripe em Pernambuco..... | 109 |
| RESUMO..... | 110 |
| ABSTRACT..... | 110 |
| INTRODUÇÃO..... | 111 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 113 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 116 |
| CONCLUSÕES..... | 124 |
| REFERÊNCIAS..... | 124 |
| | |
| CONCLUSÕES GERAIS..... | 128 |

RESUMO

O Pólo Gesseiro do Araripe é responsável por cerca de 97% da produção nacional de gesso e tem a lenha oriunda do bioma Caatinga como o principal componente da matriz energética dessa cadeia produtiva, causando um impacto severo na vegetação nativa. Como as áreas de manejo florestal da região são insignificantes em relação à demanda, se faz necessária a introdução de fontes alternativas de biomassa vegetal para geração de energia, como as gramíneas cana-de-açúcar e capim elefante. No entanto, para que essas culturas alcancem elevadas produtividades é necessário o desenvolvimento de estudos sobre solos mais adequados, nutrição, indicadores energéticos e o impacto delas no ambiente semi-árido, predominantemente ocupado pela vegetação nativa da Caatinga. Desta forma, neste trabalho se objetivou avaliar o potencial do gesso mineral do Araripe e como ele pode influenciar mudanças nas características químicas do solo em função de sua aplicação; avaliar o estado nutricional, conteúdo, eficiência do uso de nutrientes e indicadores energéticos de cana-de-açúcar e capim elefante cultivadas na presença e ausência de gesso mineral; e por fim avaliar o efluxo de CO₂ do solo e verificar a influência da umidade e temperatura do solo nesse efluxo em áreas de Caatinga preservada, nas áreas de cultivo das gramíneas exóticas na região e de florestas de eucalipto na Chapada do Araripe, em Pernambuco. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Araripina, em um Latossolo Amarelo. Foram utilizadas três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; uma melhorada pelo Programa de Melhoramento Genético da RIDEA (RB 962962), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela) na presença e ausência de gesso mineral. Aos 320 dias após a aplicação de gesso, amostras de solo foram coletadas separadamente nas profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4, e 0,4-0,6 m. Nas amostras procedeu-se a determinação do pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, e SO₄²⁻. Aos 120 e 180 dias após o plantio (DAP) realizou-se coleta da folha +3 para avaliação do estado nutricional das gramíneas. Aos 320 DAP foi realizado o corte das gramíneas e a parte aérea foi separada nos compartimentos folha e colmo. Nos compartimentos foram avaliados os teores dos nutrientes, quantidade extraída e eficiência de utilização biológica desses nutrientes. Os indicadores energéticos como, teor de fibras, lignina e o poder calorífico superior (PCS) foram avaliados em quatro diferentes períodos: aos três meses, seis meses, nove meses e meio e dez meses e meio de crescimento das plantas. Para avaliar o efluxo de CO₂ do solo em áreas de Caatinga preservada, cultivo de gramíneas e florestas de eucalipto foram realizadas cinco avaliações, duas no período de seca e três no período chuvoso. A aplicação de gesso mineral não elevou os teores de Ca²⁺ do solo em subsuperfície, porém incrementou os teores de sulfato até 0,6 m de profundidade e reduziu a saturação por Al. Os teores de Mg²⁺ e K⁺ não alteraram com a aplicação de gesso. Houve diferença nos teores de Ca²⁺ e

Mg²⁺ no solo cultivado sob os diferentes tipos de gramíneas. O conteúdo de K, Ca e Mg na parte aérea foi influenciado pelo uso do gesso, independente do tipo de gramínea cultivada. Com exceção da variedade de cana-de-açúcar RB962962 as gramíneas extraíram mais S quando o gesso foi aplicado. A eficiência de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg das gramíneas não sofreu influência da aplicação de gesso. As variedades de cana-de-açúcar cubanas C90-176 e C90-178 e a variedade de capim elefante Cameroon apresentaram menor eficiência de utilização biológica de S quando o gesso foi aplicado. Houve pouca variação nos indicadores energéticos no colmo e na folha das diferentes gramíneas nos períodos avaliados. O incremento dos teores de lignina no colmo do capim elefante Cameron sugere que o corte dessa gramínea para uso energético não deve ocorrer antes dos 200 após o plantio. A aplicação de gesso aumentou a produção de matéria seca com incrementos de até 9 Mg ha⁻¹ na variedade de capim elefante Venezuela. A média geral do efluxo de CO₂ do solo foi de 2,07; 2,73 e 1,67 μmol m⁻² s⁻¹, para as áreas de Caatinga, gramíneas e eucalipto, respectivamente. As áreas tiveram o mesmo comportamento para o efluxo de CO₂. Nos períodos de seca houve menores emissões e nos períodos de chuva maiores. Houve correlação entre o efluxo de CO₂ do solo com a temperatura e a umidade do solo.

ABSTRACT

The Gypsum Pole of Araripe is responsible for about 97% of the national production of plaster and has the wood coming from the Caatinga as the main component of the energy matrix of this productive chain, causing a severe impact on native vegetation. As the areas of forest management in the region are insignificant in relation to demand, the introduction of alternative sources of biomass for power generation is necessary, as the gramineae sugarcane and elephant grass. However, for these cultures to achieve higher productivity is necessary to develop more studies on suitable soils, nutrition, energy indicators and their impact on the semi-arid environment, predominantly occupied by native vegetation of the Caatinga. Thus, this study aimed to evaluate the potential of the mineral plaster Araripe and how it can influence changes in soil chemical properties due to its application; assess nutritional status, content, efficient use of nutrients and indicators of energy sugarcane and elephant grass grown in the presence and absence of mineral plaster; and finally evaluate the soil CO₂ efflux and the influence of soil moisture and temperature that efflux in Caatinga areas preserved in the areas of cultivation of exotic grasses in the region and eucalyptus forests in the Araripe in Pernambuco. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in Araripina, in a Oxisol. They used three varieties of sugarcane: : two Cuban origin (C90-176 and C90-178), called energy cane; one improved by the Genetic Improvement Program RIDESA (RB962962), and two

varieties of elephant grass (Cameroon and Venezuela) in the presence and absence of mineral plaster. At 320 days after the application of gypsum, soil samples were collected separately in the depths 0.0-0.2; 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m. All samples proceeded to determine the pH (H₂O) Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺ and SO₄²⁻. At 120 and 180 days after planting (DAP) it was collected of +3 leaf to assess the nutritional status of grasses. At 320 DAP was carried out the harvest of the gramineae and the shoots were separated into leaf and stalk. In the compartments evaluated the levels of nutrients, extracted quantity and efficiency of biological utilization of these nutrients. Energy indicators as fiber content, lignin and the gross calorific value (PCS) were evaluated in four different periods: at three months, six months, nine months and a half and ten and a half months of plant growth. To evaluate the soil CO₂ efflux in Caatinga areas preserved, gramineae cultivation and eucalyptus forests were conducted five evaluations, two in the dry season and three in the rainy season. The application of mineral plaster did not increase the levels of Ca²⁺ in the soil subsurface, but increased the sulfate content of up to 0.6 m deep and reduced the Al saturation. Mg²⁺ and K⁺ levels did not change with the application of plaster. There was a difference in Ca²⁺ and Mg²⁺ levels in soil under different types of gramineae. The content of K, Ca and Mg in the shoot was influenced by the use of gypsum, regardless of the cultivated grass. Except the variety of sugarcane RB962962 the gramineae extracted more S when the plaster was applied. The efficiency of biological utilization of N, P, K, Ca and Mg of the grass was not influenced by the application of plaster. The varieties of sugarcane Cuban C90-176 and C90-178 and variety of Cameroon elephant grass showed lower efficiency of biological utilization of S when the plaster was applied. There was little variation in energy indicators in the stalk and leaf of different gramineae in evaluation periods. The increase in lignin content in elephant grass stalk Cameroon suggests that cutting this grass for energy use must not take place before 200 after planting. The application of plaster increased the dry matter production in increments of up to 9 Mg ha⁻¹ for the variety of elephant grass Venezuela. The overall average CO₂ soil efflux was 2.07; 2.73 and 1.67 μmol m⁻² s⁻¹ for the areas of Caatinga, grasses and eucalyptus, respectively. Areas had the same CO₂ soil efflux behavior. In dry periods the emissions were lower than in the rain periods. There was a correlation among CO₂ soil efflux with temperature and soil moisture.

INTRODUÇÃO GERAL

Polo Gesseiro do Araripe

A região do Araripe fica localizada no extremo oeste de Pernambuco, sendo representada pelos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade, compondo 18% da área total do Estado. Nessa região fica localizada o Arranjo Produtivo Local (APL) do Polo Gesseiro do Araripe, produtor de aproximadamente 97% do gesso consumido no Brasil.

Os principais municípios que exploram esse minério são Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri, que formam o Polo Gesseiro da Região do Araripe, gerando cerca de 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, com 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e cerca de 750 indústrias de pré-moldados, gerando faturamento anual na ordem de R\$ 1,4 bilhões/ano (SINDUSGESSO, 2014).

O gesso é obtido por meio do processo de calcinação da gipsita, etapa da cadeia produtiva do gesso que exige elevados níveis de temperatura, exigindo grande quantidade de energia, em sua maioria provenientes de madeira de espécies nativas da Caatinga, retiradas da vegetação circunvizinha, sendo predominante as vegetações xerófilas que não possuem produtividade suficiente para atender o atual consumo das indústrias de gesso. A forte ação antrópica na região do Pólo Gesseiro tem causado alterações nas estruturas físicas e biológicas do ambiente (SILVA, 2008-2009).

A matriz energética da indústria do gesso do Araripe é bem diversificada, sendo formada por eletricidade, derivados de petróleo e biomassa, principalmente lenha. A eletricidade se encontra presente em todas as etapas da cadeia produtiva, no entanto, contribui com apenas 3% do total energético. O coque é o segundo energético mais utilizado com 10%, seguido do óleo BPF (baixo poder de fluidez) com 8%, utilizados na calcinação. O diesel contribui com 5% do consumo sendo utilizado na mineração, mas uma parcela muito restrita é utilizada nas calcinadoras. A lenha é responsável pela maior parte de energético consumida em todas as atividades do Pólo, 74%, utilizada apenas na calcinação (ATECEL, 2006).

As calcinadoras tem uma produção média variando entre 2500 a 3000 toneladas de gesso por mês, consumindo entre 0,04 e 0,15 m³ de energéticos florestais por tonelada de gesso produzida. Apenas uma empresa trabalha com eficiência de 0,04 m³/t e 120 (72,7%) com 0,15 m³/t, consumindo juntas em média 54.390 m³ de lenha por mês. Assim, estima-se que o Polo Gesseiro consuma 652.680 m³ de lenha por ano. Levando em consideração que as áreas exploradas sob Manejo Florestal Sustentável da Caatinga após 15 anos de rotação tenham uma produção média de 46,5 m³/ha, estima-se que para atender as indústrias de gesso são necessários 14.036 ha/ano, resultando em uma área total de 210.541,935 ha de vegetação nativa explorados sob manejo sustentável (GADELHA, 2014).

A microrregião do Araripe sofre grande pressão sobre os seus recursos florestais. A ação antrópica se intensifica cada vez mais, o que exige estratégias para minimizar a devastação das florestas, como técnicas de plantio aplicadas, um manejo florestal sustentável da Caatinga, assim como medidas para evitar o processo de savanização ocasionada pela prática inadequada de exploração florestal (GADELHA et al., 2006).

Energia da Biomassa

Todo material orgânico (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado na produção de energia é denominado de biomassa. É considerada uma forma indireta da energia solar, por converter energia solar em química através da fotossíntese.

Por ser considerada uma fonte de energia limpa e renovável, o interesse na utilização de biomassa ganhou espaço no mercado de energia, passando a ser considerada uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética mundial e consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Por este motivo os investimentos e incentivos do setor público e do setor privado de diversos países na produção de energia utilizando a biomassa têm aumentado consideravelmente nos últimos anos (CARDOSO, 2012).

O Brasil se encontra em uma situação vantajosa no que se referem as suas fontes primárias de energia ofertadas. A maior parte de energia consumida no país provém de fontes de energia renovável como hidroeletricidade, biomassa em forma de lenha e derivados de madeira, como

serragem, carvão vegetal, derivados da cana-de-açúcar e outras (GRAUER; KAWANO, 2015).

Tem-se buscado alternativas para minimizar os efeitos da degradação do Bioma Caatinga causadas pela extração excessiva da vegetação nativa. Por isso, já estão sendo realizados estudos sobre o uso de florestas energéticas de eucalipto, contudo, outras espécies vegetais como a cana e o capim elefante também possuem potenciais caracteres energéticos.

A cultura da cana

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é oriunda da região Leste da Indonésia e Nova Guiné (DANIELS & ROACH, 1987), sendo disseminada e cultivada na China, antes do início da era cristã, e na Europa, pelos árabes. Foi introduzida no Brasil no início do século XVI, da Ilha da Madeira, por Martin Afonso de Souza na primeira expedição colonizadora do Brasil, constituindo-se uma das primeiras atividades de importância econômica da então colônia, sendo disseminada principalmente para os Estados do Nordeste (ROSA, 2005).

O Brasil é um tradicional produtor de cana-de-açúcar, tendo como base para esse sucesso centros de pesquisas espalhados por todo o país, que durante séculos vêm desenvolvendo e selecionando, com técnicas de melhoramento vegetal, novas variedades com altas produtividades, alto teor de sacarose, baixo teor de fibras, resistentes à pragas e doenças, para atender a demanda de etanol e açúcar. Porém, em Cuba, a cana foi melhorada para o aumento do teor de fibra com a finalidade de atender a demanda energética do País. A cultura se destaca entre as forrageiras de clima tropical, como a planta de maior potencial para a produção de massa de matéria seca e energia por unidade de área em um único corte por ano (MELLO et al., 2006).

Resultante do cruzamento da *Saccharum officinarum* L. e *S. Saccharum spontaneum* L., as denominadas canas energéticas podem produzir o dobro da matéria seca por unidade de área em relação a variedades produtoras de açúcar (60 a 100 t ha⁻¹ ano⁻¹) e cinco ou mais vezes que florestas energéticas (OMAR et al., 2008). Segundo Jorge et al. (2005), elas são resistentes a pragas, doenças, e seus colmos têm menor umidade e energia térmica de combustão de 18,8 a 20,1 MJ kg⁻¹.

Capim Elefante

O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) tem origem do continente africano, na África Tropical mais especificamente, com latitudes entre 10°N e 20°S. Trata-se de uma gramínea forrageira descoberta em 1905 pelo coronel Napier e em 1920 foi introduzida no Brasil, encontrando-se atualmente estabelecida em todo território nacional (RODRIGUES et al., 2001). Destaca-se pela elevada produção de matéria seca por unidade de área e pelo equilíbrio nutritivo, sendo cultivado em todo o Brasil, resistindo às condições climáticas desfavoráveis, como seca e frio (QUEIROZ FILHO et al., 2000).

Utilizado principalmente como forragem, o capim elefante vem ganhando destaque no cenário energético brasileiro. Apresenta características que favorecem a sua utilização para produção de biomassa como alta produtividade (30 a 40 Mg ha⁻¹ por ano de biomassa seca), rápido crescimento com um mínimo de dois cortes por ano, um fluxo caixa melhor, áreas menores reduzindo investimento em terras e transporte, possibilidade de mecanização, fixação biológica de nitrogênio e maior assimilação de carbono (MAZZARELLA, 2012).

Além da alta produção de biomassa por unidade de área, outras características têm sido avaliadas para potencializar o aproveitamento do capim elefante como fonte de energia alternativa, como a qualidade de fibra e lignina. Moraes (2008), estudando a qualidade de cinco genótipos de capim elefante encontrou percentuais médios de fibra em detergente ácido (FDA) no colmo e na folha de 45,5 e 38,9% e lignina de 13,9 e 10,96%. Quesada (2005), trabalhando com 6 genótipos de capim elefante encontrou valores de FDA de 42,5 e 37,7% no colmo e na folha, respectivamente e lignina de 8,8 e 6,5%. Rossi (2010), trabalhando com 52 genótipos de capim-elefante encontrou valores de 47,4 e 8,9% para FDA e lignina respectivamente.

No entanto, para alcançar elevadas produtividades de matéria seca, tanto pelas variedades de cana energética quanto pelas variedades de capim elefante, é necessário pesquisar as relações nutricionais do cultivo dessas gramíneas na região do Araripe, principalmente por se tratar de solos ácidos, que exigem correção com calcário em superfície e gesso em subsuperfície (MILLÁN et al., 2010).

Gesso Agrícola

Os solos localizados na região tropical e subtropical apresentam em sua maioria limitações ao estabelecimento das plantas cultivadas em decorrência dos efeitos da acidez. Parte dessa acidez está associada à presença de Al^{3+} e Mn^{2+} em concentrações tóxicas e baixos teores de cátions de caráter básico, como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (ROSSETTO et al., 2004). Dentre os efeitos da acidez no solo, a fitotoxicidade do alumínio é considerada o fator mais limitante ao desenvolvimento das plantas em solos ácidos, uma vez que a atividade elevada desse elemento na solução do solo impede o crescimento radicular, pelo efeito negativo na divisão celular e alongação das células das raízes (CIAMPOROVÁ, 2002), com consequência na exploração de menor volume de solo e redução na absorção de água e nutrientes (ZHENG; YANG, 2005).

Como forma de reduzir o efeito fitotóxico do Al^{3+} e aumentar a disponibilidade dos cátions básicos, a prática da calagem, com uso de corretivos a base de carbonato de cálcio e magnésio (CaMgCO_3) é rotineiramente utilizada na agricultura moderna, no entanto o efeito corretivo restringe-se a camada arável ou na aplicação em superfície para cultivos estabelecidos com plantio direto, o que pouco excede 0,2 m de profundidade, não atendendo, deste modo as camadas subsuperficiais em vista das dificuldades encontradas para incorporação mecânica dos corretivos em profundidades mais elevadas (SALDANHA et al., 2007).

Para aumentar o teor de Ca^{2+} e neutralizar a atividade do Al^{3+} tóxico em camadas mais profundas de solo, o gesso mineral ou agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) surge como alternativa em virtude da maior solubilidade em relação ao calcário e a rápida mobilidade no solo (RITCHEY et al., 1980). Segundo Rocha et al. (2008) o incremento de no teor de Ca abaixo da camada arável após aplicação do gesso é atribuído a mobilização desse elemento na forma de CaSO_4^0 . Shainberg et al. (1989) explica que a reação do gesso com Al^{3+} em subsuperfície promove a precipitação e formação de espécies menos tóxicas (AlSO_4^+), o que é determinante para a melhoria do ambiente radicular em profundidade.

Diferentemente da maioria dos solos situados no sertão pernambucano, pouco intemperizados, existem solos com saturação por Al a níveis, tóxicos às plantas, como o LATOSSOLO AMARELO da Estação Experimental do Instituto

Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Araripina/PE, com cerca de 40% (SANTOS et al., 2012).

Em estudo com variedades de capim elefante e doses de gesso mineral na Chapada do Araripe para uso como fonte alternativa de energia, Santos et al. (2012) observaram que as variedades Cameroon e Gramafante apresentaram elevadas produções de matéria seca, porém apenas a primeira variedade apresentou resposta à aplicação de gesso, com aumento de 37% na produção de matéria seca, alcançando 33 Mg ha⁻¹, sendo essa prática possivelmente viável, porque é um produto de larga produção na região.

Desta forma, acredita-se que o uso do gesso produzido na região do Araripe pode aumentar a produção de matéria seca da cana energética e do capim elefante por atuar na correção da acidez trocável em subsuperfície, de modo que seja economicamente viável o uso dessas biomassas como fonte energética.

Efluxo de CO₂ do Solo

O fenômeno do efeito estufa ocorre quando uma parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera chamados “gases de efeito estufa” (GEE), resultando no aquecimento do planeta (ESCOBAR, 2008). De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), alterações nas concentrações das emissões de GEE podem acarretar um aumento na temperatura média no planeta em até 5,8 °C pelos próximos cem anos.

Os principais gases de efeito estufa (GEE) são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Devido a sua estabilidade química podem permanecer na atmosfera em uma escala de tempo que varia de décadas a séculos, influenciando as alterações climáticas em longo prazo (IPCC, 2007). Dentre eles o CO₂ ocupa lugar de destaque entre os gases devido a sua concentração atmosférica aumentar cerca de 3,2 Gt ano⁻¹ (IPCC, 2001).

No solo o CO₂ é produzido principalmente pela decomposição aeróbia da matéria orgânica pelos microrganismos e pela respiração das raízes, denominada de respiração solo (DIAS, 2006). A taxa de transferência deste

gás é controlada por cinco fatores, como a taxa de produção do solo, gradientes de temperatura, concentração na interface solo-atmosfera, propriedades físicas do solo e flutuações da pressão atmosférica do ambiente (SOTTA, 1998).

O Bioma mais representativo do semiárido brasileiro é a Caatinga e de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), este possui uma área aproximada de 844.453 km² sendo considerado um bioma completamente brasileiro. Devido ao corte indiscriminado da vegetação nativa desse Bioma, pelo aumento da demanda por produtos energéticos, vem ocorrendo alterações no ambiente. A remoção da cobertura vegetal nativa retira a proteção do solo, levando a savanização.

A instalação de plantios comerciais no semiárido é uma alternativa para suprir a demanda da região por produtos florestais e reduzir o corte de espécies nativas. Assim, a introdução de espécies de alta produção de biomassa, adaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido, representa uma alternativa de renda para os agricultores, a preservação do Bioma e a possibilidade de estocar carbono na fitomassa aérea e radicular (DRUMOND et al., 2008). O plantio de florestas energéticas de eucalipto associado ao cultivo de gramíneas como cana e capim elefante, parece ser uma alternativa viável de acordo com alguns estudos já realizados (GADELHA et al., 2012; SANTOS et al., 2012; ALBUQUERQUE, 2013).

O monitoramento do efluxo de CO₂ direto do solo em conjunto com outros parâmetros que se correlacionam, de maneira que se possa quantificá-los e relacioná-los, facilita o entendimento. Assim, podem-se constatar quais as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e atmosfera, e as suas consequências para o clima global quando se substitui a Caatinga por outras culturas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, H. S. **Desempenho agroenergético, uso da água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Chapada do Araripe**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada – PE. 2013.

ATECEL – **Diagnóstico energético do setor industrial do Pólo gesseiro da meso região de Araripina – PE**. Campina Grande, 126 p., 2006.

CARDOSO, B. M. **Uso de biomassa como alternativa energética**. 2012. 94 f. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2012.

CIAMPOROVÁ, M. Morphological and structure responses of plant roots to aluminium at organ, tissue, and cellular levels. **Biologia Plantarum**, v. 45, p. 161-171, 2002.

DANIELS, J; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution in sugarcane. Sugarcane improvement through breeding. Heinz DJ, ed. (1987) Amsterdam: Elsevier Press. 7-84.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP. 2006.

DRUMOND, M. A. et al. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semi-árido brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 665-669, 2008.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul.** 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2008.

GADELHA, F. H. L. et al. Análise do crescimento de híbridos de *Eucalyptus* spp. na região do Polo Gesseiro do Araripe de Pernambuco. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX, VI. 2006. **Anais eletrônicos...** Recife: UFRPE, 2006.

GADELHA, F. H. L. et al. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus* sp. no Polo Gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 331-341, abr.-jun. 2012.

GADELHA, F. H. L. **Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos.** 2014. 149 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife – PE. 2014.

GRAUER, A.; KAWANO, M. Uso da biomassa para a produção de energia. Disponível em: <<http://www.ecovale.org.br/noticias023.php>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil – Primeira Aproximação – escala 1:5.000.000**, Rio de Janeiro, IBGE, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change. The scientific basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2001. 881 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge: University Press, 2007.

JORGE, H. et al. De Casos Exitosos de Desarrollo Sustentable del Trópico. **Anais...** Congresso Internacional. Boca Del Rio. Vera Cruz. México. 2005.

MAZZARELLA, V. Capim-elefante: capim-elefante produz energia. Instituto de pesquisas tecnológicas. 2010. Disponível em: <<http://www.ipt>>. Acesso em: 15/10/2012.

MELLO, S. Q. S. et al. Parâmetros do valor nutritivo de nove variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 4, p. 373-380, out./dez. 2006.

MILLÁN, G. et al. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. **Ciencia del Suelo**, v. 28, p.131-140, 2010.

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. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2008.

OMAR, T. et al. Variedades de caña de azúcar de alto contenido de fibras como fuente de fibras para la industria del papel. **In:** V Congreso Iberoamericano de Investigacion en Celulosa y Papel. 2008.

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

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

RITCHEY, K. D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v. 72, p. 40-44, 1980.

ROCHA, A. T. et al. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**. v. 3, p. 307-312, 2008.

RODRIGUES, L. R. A. et al. (Eds.) Simpósio sobre manejo da pastagem, 17, Piracicaba, 2001. 2ª edição. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001, p.203-224.

ROSA, G. R. **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar.** 1ª. ed. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136p.

ROSSETO, R. et al. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, v.63, p.105-119, 2004.

ROSSI, D. A. **Avaliação morfoagronômica e da qualidade de biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no Norte Fluminense.** 2010. 55 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ. 2010.

SALDANHA, E. C. M. et al. Uso de gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 1, p. 36-42, 2007.

SANTOS, R. L. et al. Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 497-505, 2012.

SHAINBERG, I. et al. **Use of gypsum on soils: A review**. In: Stewart, B. A. ed, *Advances in Soil Science*, New York, Springer-Verlag, v. 9, p. 1-111, 1989.

SINDUSGESSO (Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco), disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 28 de janeiro de 2014.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de eucalyptus no Pólo Gesseiro do Araripe – Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, vols. 5 e 6, p.301-319, 2008-2009.

SOTTA, E. D. **Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central**. 1998. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM. 1998.

ZHENG, S. J.; YANG, J. L. Target sites of aluminum phytotoxicity. **Biologia Plantarum**, v. 49, p. 321-331, 2005.

Capítulo I

Potencial do gesso para cultivo de gramíneas como fonte de energia de
biomassa no Araripe em Pernambuco

RESUMO

O uso de gramíneas, como capim elefante e cana-de-açúcar, é uma alternativa de biomassa para produção de energia capaz de minimizar ou mesmo substituir o uso da vegetação da Caatinga no Araripe, como biomassa energética, devido à elevada produção de matéria seca dessas gramíneas. Os solos da Chapada do Araripe, em sua maioria, apresentam acidez elevada. Isso pode comprometer a obtenção de produções economicamente viáveis de capim elefante e cana-de-açúcar. A utilização de gesso como corretivo da acidez é muito pertinente nessa região, porque é uma grande produtora de gesso mineral para diversos usos, entre eles o uso agrícola. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do gesso mineral do Araripe e como ele pode influenciar mudanças nas características químicas do solo em função de sua aplicação e o cultivo de cana-de-açúcar e capim elefante na Chapada do Araripe, em Pernambuco. O experimento foi composto por três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; uma melhorada pelo Programa de Melhoramento Genético da RIDESA (RB962962), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela) na presença e ausência de gesso mineral. Aos 320 dias após a aplicação de gesso, amostras de solo foram coletadas separadamente nas profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4, e 0,4-0,6 m. Nas amostras procedeu-se a determinação do pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺ e SO₄²⁻. A aplicação de gesso mineral não elevou os teores de Ca²⁺ do solo em subsuperfície, porém incrementou os teores de sulfato até 0,6 m de profundidade e reduziu a saturação por Al. Os teores de Mg²⁺ e K⁺ não alteraram com a aplicação de gesso. Houve diferença nos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo cultivado sob os diferentes tipos de gramíneas.

Palavras-chave: *Saccharum spp* L., *Pennisetum purpureum* Schum., acidez do solo, gesso agrícola.

ABSTRACT

The use of gramineae, elephant grass thatched and sugarcane, is an alternative biomass for energy production can minimize or even replace the use of Caatinga vegetation in Araripe as biomass energy due to the high dry matter production these gramineae. The soils of the Araripe, mostly have high acidity. This can compromise the achievement of economically viable production of elephant grass and sugarcane. The use of plaster as a corrective of the acidity is very relevant in this region because it is a major producer of mineral plaster for various uses, including agricultural use. The objective of this study was to evaluate the potential of Araripe mineral plaster and how it can influence changes in soil chemical properties due to its application and the cultivation of sugarcane and elephant grass in the Araripe in Pernambuco . The experiment consisted of three varieties of sugarcane: two Cuban origin (C90-176 and C90-178), called energy cane; one improved by the Genetic Improvement Program RIDESA (RB962962), and two varieties of elephant grass (Cameroon and Venezuela) in the presence and absence of mineral plaster. At 320 days after the application of plaster, soil samples were collected separately in the depths 0.0-0.2; 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m. All samples proceeded to determine the pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺ and SO₄²⁻. The application of mineral plaster did not increase the levels of Ca²⁺ in the soil subsurface, but increased the sulfate content of up to 0.6 m deep and reduced the Al saturation. Mg²⁺ and K⁺ levels did not change with the application of plaster. There was a difference in Ca²⁺ and Mg²⁺ levels in soil under different types of gramineae.

Keywords: *Saccharum spp* L., *Pennisetum purpureum* Schum., soil acidity, plaster

INTRODUÇÃO

A região do Polo Gesseiro do Araripe tem sérios problemas ambientais devido ao uso indiscriminado da vegetação nativa como biomassa para atender a demanda energética necessária para suprir os fornos usados na calcinação do gesso mineral. Alguns fatores contribuem para o alto consumo dessa vegetação nativa, como o baixo custo em relação a outras fontes de energia e também a falta de fiscalização no comércio ilegal da Caatinga. Segundo Silva (2008-2009), o estoque de madeira da Caatinga não é suficiente para atender a demanda da indústria do gesso, principalmente, pelo baixo número de planos de manejo florestal sustentável na região.

O uso de gramíneas, como capim elefante e cana-de-açúcar, apresenta-se como uma alternativa de biomassa energética para minimizar ou mesmo substituir a vegetação da Caatinga, como produtora de energia, devido à elevada produção de matéria seca dessas gramíneas. Contudo, as condições de solo precisam ser as mais adequadas possíveis para manter elevadas produções de matéria seca dessas gramíneas. Os solos da Chapada do Araripe, em sua maioria são classificados como Latossolos (CAVALCANTI & LOPES, 1994), apresentando acidez elevada em superfície e subsuperfície. Isso pode comprometer a obtenção de produções elevadas e economicamente viáveis no cultivo de capim elefante e cana-de-açúcar.

Os solos tropicais apresentam acidez elevada e toxicidade por Al, além dos baixos teores de cátions de caráter básico, como Ca e Mg (VERONESE et al., 2012). Para a correção dessa acidez são utilizados corretivos químicos a base de carbonato de Ca e/ou Mg, no entanto, os efeitos destes corretivos se restringem a camada arável ou superficial do solo, devido a baixa solubilidade desses materiais e às dificuldades para sua incorporação em maiores profundidades (SALDANHA et al., 2007). Uma maneira de corrigir a acidez nas camadas mais profundas do solo é fazendo uso da aplicação de gesso (ROCHA et al., 2014).

O gesso agrícola diminui os teores de Al, minimizando a atividade desse elemento na solução do solo, além de fornecer Ca e S para as camadas mais profundas do solo. Por outro lado, o sulfato presente no gesso também pode promover o carreamento de outras bases como Mg e K das camadas

superficiais para as mais profundas, devido a facilidade desse ânion em se deslocar ao longo do perfil do solo (NEIS et al., 2010).

A utilização de gesso como corretivo da acidez em subsuperfície para se cultivar gramíneas no Araripe como fonte alternativa de energia é muito pertinente, porque essa região é grande produtora de gesso mineral para diversos usos, entre eles o uso agrícola.

Alguns trabalhos foram desenvolvidos utilizando o gesso mineral do Araripe (FERNANDES et al., 2007 A, B; SALDANHA et al., 2007; ROCHA et al., 2008; ROCHA et al., 2014), porém foram trabalhos que tiveram foco em: avaliar nível crítico de S em cana-de-açúcar; estudar alterações químicas em solos da Zona da Mata de Pernambuco cultivados com cana-de-açúcar; avaliar o uso do gesso como condicionador do ambiente radicular de cana-de-açúcar; e como promotor da produção de biomassa em sorgo.

Pouco foi feito para estudar como esse gesso pode melhorar a performance de gramíneas cultivadas na própria região do Araripe. Santos et al. (2012), trabalhando com o cultivo de diferentes variedades de capim elefante para uso como fonte de biomassa energética, utilizaram gesso da própria região do Araripe para melhorar a performance destas variedades e obtiveram elevadas produções de matéria seca, principalmente na variedade Cameroon. Outro trabalho realizado na região foi o de Albuquerque (2013) que estudou o desempenho agroenergético de cana-de-açúcar cultivada na Chapada do Araripe e concluiu que o gesso não contribuiu para melhorar esse desempenho.

É necessário compreender como esse gesso atua em profundidade, especificamente neste tipo de solo, para adequar seu uso; compreender que alterações pode realizar nas características químicas destes solos; entender como as gramíneas cana-de-açúcar e capim elefante podem ser melhor cultivadas nesse solo e como elas podem interagir com o gesso e com as mudanças químicas provocadas por sua aplicação.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do gesso mineral do Araripe e como pode ele influenciar mudanças nas características químicas do solo em função de sua aplicação e o cultivo de cana-de-açúcar e capim elefante na Chapada do Araripe em Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na Chapada do Araripe, no município de Araripina. A Estação Experimental está localizada a 690 km do Recife, tem coordenadas geográficas de 07°27'37" S e 40°24'36" W e uma altitude de 831 m. A vegetação da região é composta basicamente por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005). O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, que se inicia, geralmente, em novembro e termina em abril. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 752 mm com temperatura do ar média de 24 °C.

O experimento foi conduzido de fevereiro de 2014 a janeiro de 2015. Durante esse período foram coletados dados da precipitação pluvial local e registrado um acumulado de 436 mm, temperatura do ar média de 27 °C (Figura 1).

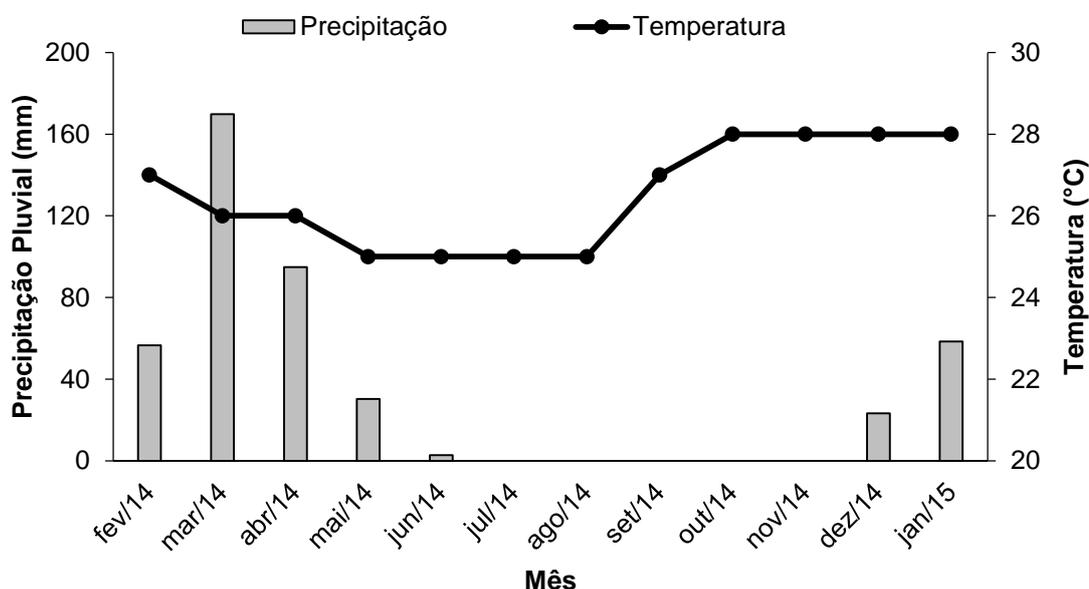


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) durante o período do ensaio de campo em Araripina.

Cavalcanti & Lopes (1994) classificaram o solo da Chapada do Araripe como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Para caracterizar o solo do local

do experimento, química e fisicamente, foi realizada uma amostragem aleatória e coletadas 15 amostras simples para formação de uma composta nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m (Tabela 1).

Quimicamente o solo foi caracterizado pelo pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), P e Carbono Orgânico Total (COT). O Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com cloreto de K 1,0 mol L⁻¹; O P, K⁺ e Na⁺ com Mehlich-1; O H+Al com acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ e SO₄²⁻ com fosfato de Ca em água. O Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e (H+Al) foram determinados por titulometria; K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama; P por colorimetria, COT por combustão úmida com dicromato de K e o sulfato por turbidimetria. Todas as análises foram realizadas de acordo com os procedimentos sugeridos pela Embrapa (2011), com exceção do SO₄²⁻, que foi realizada de acordo com Alvarez et al. (2001). Com os dados obtidos foi ainda calculada a capacidade de troca de cátions efetiva, a saturação por Al e a saturação por bases.

Fisicamente o solo foi caracterizado quanto a sua granulometria, que foi determinada pelo método da pipeta segundo procedimentos recomendados por Ruiz (2005). A granulometria foi utilizada para definição da classe textural do solo. Foram também realizadas análises de densidade do solo pelo método da proveta, densidade de partículas pelo método do balão volumétrico e porosidade total (EMBRAPA, 2011).

O experimento foi composto por três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; e uma variedade (RB962962) produzida e desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela).

As variedades de origem cubana foram escolhidas pelos seus elevados teores de fibra e são utilizadas em Cuba como fonte de biomassa energética. A variedade RB 962962, apesar de ter sido desenvolvida para produção de açúcar, foi escolhida por sua elevada produção de matéria seca e pelo seu desempenho agroenergético constatado no trabalho de Albuquerque (2013). O capim elefante Cameroon foi escolhido por ter sido utilizado na Chapada do Araripe e apresentado bom desempenho energético (SANTOS et al., 2015) e o Venezuela foi recomendado pelo IPA para que se pudesse avaliar sua característica energética.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo nas profundidades 0,0 - 0,2; 0,2 - 0,4 e 0,4 - 0,6 m, na área do ensaio de campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina

| Atributo | Profundidade (m) | | |
|--|------------------|---------------|---------------|
| | 0,0 - 0,2 | 0,2 - 0,4 | 0,4 - 0,6 |
| pH água (1:2,5) | 5,50 | 4,40 | 4,62 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 1,80 | 0,40 | 0,35 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,90 | 0,20 | 0,45 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,18 | 0,07 | 0,06 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| P (mg dm ⁻³) | 6,00 | 2,00 | 0,80 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,20 | 0,50 | 0,60 |
| (H + Al) (cmol _c dm ⁻³) | 2,40 | 2,50 | 2,80 |
| COT (g kg ⁻¹) ¹ | 1,79 | 0,75 | 0,45 |
| CTC potencial (cmol _c dm ⁻³) ² | 5,30 | 3,20 | 1,46 |
| CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³) ³ | 3,10 | 1,20 | 1,50 |
| m (%) ⁴ | 6,45 | 41,83 | 40,00 |
| V (%) ⁵ | 54,73 | 21,76 | 24,32 |
| S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³) | 1,30 | 0,45 | 0,46 |
| Areia Grossa (g kg ⁻¹) | 441,13 | 527,60 | 524,51 |
| Areia Fina (g kg ⁻¹) | 177,71 | 176,20 | 187,60 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 32,88 | 36,28 | 33,17 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 348,86 | 259,92 | 254,72 |
| Classe Textural | Franco Argilo | Franco Argilo | Franco Argilo |
| | Arenoso | Arenoso | Arenoso |
| Dp (kg dm ⁻³) ⁶ | 2,65 | 2,74 | 2,84 |
| Ds (kg dm ⁻³) ⁷ | 1,41 | 1,46 | 1,46 |
| PT (%) ⁸ | 46,79 | 46,59 | 48,59 |

¹ Carbono orgânico total; ² Capacidade de troca de cátions potencial; ³ Capacidade de troca de cátions efetiva; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Densidade da partícula; ⁷ Densidade do solo; ⁸ Porosidade total;

As gramíneas foram submetidas a duas doses de gesso mineral, 0 e 0,6 Mg ha⁻¹. A dose de gesso foi calculada de acordo com o resultado da necessidade de calagem (NC) da camada 0,2-0,6 m de profundidade (Tabela 1), utilizando-se o método da saturação por bases (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), estimando-se 60% como saturação por bases final.

De acordo com Alvarez et al. (1999), a dose de gesso deve corresponder a 25% da NC da camada de solo em subsuperfície que se pretende corrigir. No caso deste trabalho, a camada para correção considerada foi a de 0,2-0,6 m de profundidade. Como as camadas estavam divididas em extratos de 0,2 m, se calculou a soma da NC das camadas 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m e aplicou-se 25%, o que correspondeu a uma dose de gesso de 0,6 Mg ha⁻¹.

O ensaio foi disposto em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 2), com quatro repetições. Cada parcela foi composta por cinco sulcos de 10 m de comprimento, espaçados de 1 m, perfazendo uma área total de 50 m². A área útil foi formada pelas três linhas centrais, descartando-se 1 m das extremidades, o que totalizou 24 m².

A instalação do experimento foi iniciada com a distribuição a lanço de 0,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 93%, 45 dias antes do plantio. O calcário foi incorporado com grade de disco até 0,2 m de profundidade. A necessidade de calagem foi calculada pelo método da saturação por bases (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), estimando-se 60% como saturação por bases final. O gesso foi aplicado no dia da instalação do experimento, com distribuição a lanço.

Os adubos aplicados antes das operações de plantio e após a abertura dos sulcos corresponderam a 45 kg ha⁻¹ de uréia (44% de N), 440 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (41% de P₂O₅) e 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (58% de K₂O). Aos 70 dias após o plantio (DAP) aplicou-se em cobertura mais 90 kg ha⁻¹ de ureia e 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada e potássica foi dividida em 1/3 no plantio no fundo sulco e 2/3 em cobertura na linha de plantio, porque o solo tinha elevados teores de areia (Tabela 1). As adubações com N e K foram realizadas de acordo com o Manual de Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO, 2008) e a adubação com P de acordo com Simões Neto et al. (2015).

O plantio das gramíneas foi realizado em sulcos abertos com 0,2 m de profundidade, onde foram distribuídos os propágulos vegetativos: 14 t ha⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar e 4 t ha⁻¹ de colmos de capim elefante, sendo dispostos nos sulcos como corrente dupla, de modo que a ponta de uma coincida com a base da outra. Posteriormente, os colmos de ambas as espécies vegetais foram rebolados em toletes com 4 a 5 gemas, e em seguida os sulcos foram fechados.

Aos 320 dias após a aplicação de gesso, amostras de solo foram coletadas separadamente nas profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4, e 0,4-0,6 m. Para obtenção das amostras foram realizadas tradagens a uma distância de 0,25 m da linha de plantio das gramíneas, onde em cada parcela foram coletadas cinco amostras simples para formar uma composta, dispostas em duas diagonais na área útil da parcela.

Nas amostras procedeu-se a determinação do pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, e SO₄²⁻, pelos mesmos métodos citados anteriormente para caracterização química da área experimental. Também foi calculada a saturação por Al e a saturação por bases.

Os dados das variáveis dependentes foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, separadamente por profundidade de solo. Quando os efeitos principais e/ou interação apresentaram significância estatística foi aplicado nos dados o teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade. Para os teores de Ca trocável e SO₄²⁻ do solo foram aplicados contrastes ortogonais e realizados os testes t e F a 5% de probabilidade, na presença de gesso mineral, com o objetivo de contrastar os efeitos das diferentes gramíneas e suas interações com o Ca e SO₄²⁻ fornecidos pelo gesso mineral e a saturação por Al do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Ca²⁺ não foram influenciados pela aplicação de gesso mineral nas camadas superficiais e subsuperficiais (Tabela 2). Na camada superficial era de se esperar que os teores estivessem bem mais elevados, porque foi aplicado calcário. Como o calcário é pouco móvel no solo, normalmente fica na superfície até onde é incorporado (CAIRES et al., 2004).

Neste caso, especificamente, apesar de ter sido pequena a quantidade de água pluvial total que precipitou durante o ensaio de campo (436 mm), ela se concentrou nos quatro primeiros meses após a instalação do experimento (Figura 1), provocando lixiviação do Ca^{2+} proveniente do calcário. Essa lixiviação foi também facilitada pelos altos teores de areia do solo (Tabela 1).

Adicionalmente, a amostragem para determinação dos teores de Ca^{2+} foi realizada após o cultivo das gramíneas que influenciaram significativamente esses teores na camada superficial (Tabela 2). Portanto, o Ca^{2+} lixiviou da camada superficial para as camadas subsuperficiais e foi absorvido pelas gramíneas, o que reduziu seus teores na superfície.

No caso do gesso, sua maior mobilidade no solo, quando comparado ao calcário, faz com que haja um deslocamento previsível desse insumo das camadas superficiais para as camadas subsuperficiais (QUAGIO, 2000). Neste caso, especificamente, a quantidade de água pluvial total que precipitou durante o ensaio (Figura 1), apesar de ter sido pequena (436 mm), foi suficiente para solubilizar todo o gesso aplicado e, mais do que suficiente, para lixiviar o gesso aplicado na superfície.

Nas camadas subsuperficiais (0,2-0,4 e 0,4-0,6 m de profundidade) era de se esperar maiores teores de Ca^{2+} quando se aplicou gesso e isso não ocorreu (Tabela 2). É provável que o deslocamento do Ca^{2+} do calcário provocado pela elevada precipitação pluvial no início do ensaio (Figura 1) e favorecido pelo solo muito arenoso (Tabela 1) tenha reduzido o efeito do gesso (Tabela 2). Pode-se observar que os teores de Ca^{2+} nas camadas subsuperficiais onde não se aplicou gesso (Tabela 2), foram mais do que o dobro dos teores iniciais antes da instalação do experimento (Tabela 1). Portanto, o Ca^{2+} do gesso que se deslocou para as camadas subsuperficiais, apesar de ter sido em torno de 25% maior do que quando não se aplicou gesso (camada 0,2-0,4 m de profundidade), não teve efeito significativo estatisticamente, porque o Ca^{2+} do calcário também atingiu as camadas subsuperficiais.

Tabela 2. Teor de cálcio, magnésio e potássio trocável e sulfato no solo em função do cultivo de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) e da aplicação de gesso mineral em três profundidades

| Gramíneas | Ca ²⁺ | | | Mg ²⁺ | | | K ⁺ | | | S-SO ₄ ²⁻ | | |
|------------------------------------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|---------------------|--------------------|---------|-------|---------------------------------|---------|-------|
| | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média |
| cmol _c dm ⁻³ | | | | | | mg dm ⁻³ | | | | | | |
| Profundidade de 0,0 – 0,2 m | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 2,11 | 1,98 | 2,04b | 1,01 | 0,75 | 0,88b | 0,18 | 0,17 | 0,17a | 2,73 | 1,04 | 1,89 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 1,98 | 1,66 | 1,82b | 1,23 | 1,32 | 1,27a | 0,20 | 0,20 | 0,20a | 3,11 | 1,19 | 2,15 |
| RB962962 ⁽²⁾ | 2,50 | 2,43 | 2,46a | 0,73 | 0,60 | 0,66b | 0,11 | 0,09 | 0,10b | 2,95 | 1,03 | 1,99 |
| Cameroon ⁽³⁾ | 2,36 | 2,13 | 2,25a | 1,10 | 1,14 | 1,12a | 0,13 | 0,12 | 0,12b | 2,75 | 1,11 | 1,93 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 1,69 | 1,61 | 1,65b | 1,02 | 0,97 | 1,00a | 0,18 | 0,15 | 0,16a | 2,82 | 1,20 | 2,01 |
| Média | 2,13 | 1,96 | | 1,02 | 0,96 | | 0,16 | 0,15 | | 2,87A | 1,12B | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | 3,69* | | | 8,46** | | | 4,76** | | | 0,52 ^{ns} | | |
| Gesso | 1,19 ^{ns} | | | 0,74 ^{ns} | | | 0,84 ^{ns} | | | 199,66** | | |
| Gram*Ges | 0,10 ^{ns} | | | 0,78 ^{ns} | | | 0,05 ^{ns} | | | 0,28 ^{ns} | | |
| C.V. (%) | 23,57 | | | 22,83 | | | 33,93 | | | 19,71 | | |
| Profundidade de 0,2 – 0,4 m | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 0,94 | 1,31 | 1,12 | 0,44 | 0,42 | 0,43 | 0,07 | 0,06 | 0,06b | 2,43Ac | 0,43Ba | 1,43 |
| C90-178 | 1,23 | 0,88 | 1,05 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,10 | 0,09 | 0,10a | 2,67Ac | 0,32Ba | 1,50 |
| RB962962 | 1,22 | 0,87 | 1,05 | 0,61 | 0,52 | 0,56 | 0,06 | 0,06 | 0,06b | 3,49Ab | 0,59Ba | 2,04 |
| Cameroon | 1,58 | 1,02 | 1,30 | 0,55 | 0,48 | 0,51 | 0,05 | 0,05 | 0,05b | 2,86Ac | 0,45Ba | 1,65 |
| Venezuela | 1,28 | 1,19 | 1,24 | 0,60 | 0,69 | 0,65 | 0,11 | 0,09 | 0,10a | 4,50Aa | 0,44Ba | 2,47 |
| Média | 1,25 | 1,05 | | 0,54 | 0,52 | | 0,08 | 0,07 | | 3,19 | 0,45 | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | 1,10 ^{ns} | | | 2,62 ^{ns} | | | 11,50** | | | 5,21** | | |
| Gesso | 4,15 ^{ns} | | | 0,16 ^{ns} | | | 0,73 ^{ns} | | | 259,42** | | |
| Gram*Ges | 2,80 ^{ns} | | | 0,51 ^{ns} | | | 0,66 ^{ns} | | | 4,42** | | |
| C.V. (%) | 26,32 | | | 26,02 | | | 24,23 | | | 29,63 | | |
| Profundidade de 0,4 – 0,6 m | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 0,80 | 0,88 | 0,84 | 0,50 | 0,46 | 0,48 | 0,06 | 0,06 | 0,06a | 7,01Ab | 0,52Ba | 3,76 |
| C90-178 | 0,90 | 1,04 | 0,97 | 0,49 | 0,46 | 0,48 | 0,09 | 0,08 | 0,08a | 7,97Aa | 0,77Ba | 4,37 |
| RB962962 | 0,86 | 0,81 | 0,83 | 0,47 | 0,44 | 0,46 | 0,07 | 0,07 | 0,07a | 4,27Ac | 0,77Ba | 5,40 |
| Cameroon | 0,87 | 0,86 | 0,87 | 0,39 | 0,36 | 0,37 | 0,03 | 0,02 | 0,02b | 6,62Ab | 0,61Ba | 3,62 |
| Venezuela | 0,88 | 0,79 | 0,83 | 0,54 | 0,43 | 0,48 | 0,07 | 0,06 | 0,07a | 8,61Aa | 0,75Ba | 4,68 |
| Média | 0,86 | 0,87 | | 0,48 | 0,43 | | 0,06 | 0,06 | | 6,89 | 0,69 | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | 0,67 ^{ns} | | | 1,47 ^{ns} | | | 20,28** | | | 5,03** | | |
| Gesso | 0,03 ^{ns} | | | 2,09 ^{ns} | | | 2,83 ^{ns} | | | 350,41** | | |
| Gram*Ges | 0,41 ^{ns} | | | 0,24 ^{ns} | | | 0,26 ^{ns} | | | 5,09** | | |
| C.V. (%) | 23,52 | | | 23,13 | | | 23,25 | | | 27,68 | | |

⁽¹⁾ Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾ Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾ Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott (p>0,05).

^{ns} Não Significativo; * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Souza et al. (2012), avaliando o efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo, também não encontraram efeito do gesso em profundidade, e argumentaram que possivelmente a correção realizada com calcário, ocupou as cargas dos colóides e promoveu a lixiviação do Ca^{2+} para camadas bem mais abaixo do que as avaliadas na pesquisa.

Trabalhando em condições edafoclimáticas semelhantes ao do presente estudo, Santos et al. (2013), avaliando a produção de capim elefante e movimentação de cátions em função do gesso mineral, observaram que os teores de Ca^{2+} nas camadas superficial e subsuperficial não foram influenciados pelo uso do gesso. De acordo com os autores provavelmente o Ca^{2+} proveniente do gesso tenha sido lixiviado para as camadas mais inferiores pela solubilidade do material, facilitada pela alta precipitação após a aplicação do insumo e pelo alto teor de areia do solo, diminuindo a capacidade de retenção do Ca^{2+} .

Na camada superficial houve diferença nos teores de Ca^{2+} no solo sob cultivo das diferentes gramíneas, com maiores valores encontrados em solos cultivados com a variedade de cana-de-açúcar RB962962 e o capim elefante Cameroon.

O uso do gesso não promoveu diferença nos teores de Mg^{2+} nas camadas amostradas (Tabela 2). Rocha et al. (2008), em pesquisa utilizando o gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar, não encontraram variações significativas dos teores de Mg^{2+} nas profundidades estudadas.

Em geral o uso do gesso promove uma maior mobilidade ao Mg^{2+} pela combinação com o sulfato, formando o par iônico MgSO_4^0 (SALDANHA et al., 2007). A formação desse par iônico facilitando a mobilidade do Mg^{2+} pode levar a perdas por lixiviação desse elemento, reduzindo sua absorção pelas plantas. De acordo com Caires et al. (2003), perdas de Mg têm sido associadas a aplicação de altas doses de gesso agrícola. Portanto, é necessário ser muito criterioso quando houver necessidade de usar gesso, principalmente com o cálculo das doses a serem aplicadas.

Adicionalmente, ocorreu um incremento no teor de Mg^{2+} na profundidade de 0,2-0,4 m (Tabela 2) em comparação com os teores iniciais antes do cultivo (Tabela 1), possivelmente devido a lixiviação do calcário dolomítico da camada superficial provocada pela elevada precipitação pluvial no início do experimento

(Figura 1), como ocorreu com os teores de Ca^{2+} . É possível também que a incorporação do calcário tenha ocorrido até 0,30 m de profundidade devido ao diâmetro dos discos da grade aradora.

O cultivo das gramíneas influenciou significativamente os teores de Mg^{2+} na camada superficial (Tabela 2), como ocorreu com o Ca^{2+} . Maiores teores foram encontrados em solos cultivados com a variedade de cana-de-açúcar C90-178 e com as variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela. Santos et al. (2013) trabalhando com os capins elefantes Cameroon, Gramafante e Roxo também não observaram redução significativa nos teores de Mg^{2+} em superfície. Portanto, o capim elefante, independente da variedade, não foi exigente em Mg.

Não houve efeito residual do gesso nos teores de K^+ (Tabela 2), corroborando com resultados obtidos por outros autores (CAIRES et al., 2004; COSTA et al., 2007; SOUZA et al., 2012; SANTOS et al., 2013). No entanto, é possível existir perda de K com o uso do gesso (SILVA et al., 1997). Assim como o Mg^{2+} também pode ocorrer perdas de K^+ ao longo do perfil do solo pela combinação do K^+ com o sulfato do gesso. A lixiviação desse elemento pode ser ainda mais intensa pela menor densidade de carga dele em relação ao Ca e ao Mg (RAMOS et al., 2013).

A pouca movimentação do K ao longo do perfil no solo neste trabalho pode ser atribuída à dose relativamente baixa de gesso e criteriosamente calculada (ALVAREZ et al., 1999), como também, à adubação em cobertura realizada 70 dias após o plantio, minimizando a lixiviação.

O cultivo das gramíneas influenciou os teores de K^+ em todo o perfil do solo (Tabela 2), mostrando que houve atividade radicular de absorção até mesmo 0,6 m de profundidade. Isso foi provavelmente facilitado pela ação do gesso, que promoveu melhoria no ambiente radicular, assim como a lixiviação do Ca^{2+} do calcário aplicado na superfície. O capim elefante Cameroon reduziu os teores de K^+ em todas as profundidades avaliadas, independente da aplicação de gesso. Comportamento inverso apresentou o capim elefante Venezuela. O capim Cameroon assemelhou-se a variedade de cana-de-açúcar RB962962 e o capim Venezuela as variedades de cana-de-açúcar C90-176 e C90-178. Santos et al. (2013) cultivaram capim elefante neste mesmo solo e não observaram redução dos teores de K^+ , nem na presença e nem na ausência de gesso.

Os teores de sulfato evidenciaram a ação do gesso nas camadas superficiais e subsuperficiais (Tabela 2). É provável que uma pequena quantidade de gesso não tenha sido solubilizada permanecendo na superfície, mesmo tendo tido água suficiente para a solubilização. O pH mais elevado na superfície pode ter dificultado a solubilidade do sulfato.

Em subsuperfície o gesso promoveu incrementos significativos de sulfato, evidenciando sua ação em profundidade (Tabela 2). Essa ação foi tão significativa que as gramíneas interagiram com os teores de sulfato até 0,6 m de profundidade, como tinha ocorrido com os teores de K^+ . Isso indicou que o gesso promoveu melhoria do ambiente radicular, facilitando a absorção de nutrientes e, provavelmente, a eficiência de uso da água.

A aplicação de gesso movimentou o ânion sulfato para camadas mais profundas do solo, principalmente associado ao Ca (SANTOS et al., 2013), como observado neste estudo (Tabela 2). A textura mais arenosa do solo (Tabela 1) aliada à precipitação pluvial elevada no início do experimento (Figura 1) facilitou esse arraste do sulfato e seu acúmulo em subsuperfície. Caires et al. (2001), avaliando o crescimento radicular e nutrição da soja cultivada em sistema de plantio direto em resposta a aplicação de calcário e gesso na superfície, também encontraram aumento nos teores de sulfato do solo, principalmente nas camadas mais profundas, pelo uso do gesso.

Para entender a interação das diferentes gramíneas com os nutrientes oriundos do gesso mineral (Ca e S) de forma agrupada, foram realizados contrastes ortogonais por profundidade apenas nas parcelas em que se aplicou gesso.

A cana-de-açúcar reduziu significativamente os teores de Ca^{2+} em relação ao capim elefante na profundidade de 0,2-0,4 m (Tabela 3). A responsabilidade por essa redução foi das variedades de cana-de-açúcar C90-176 e C90-178, porque a variedade RB962962 se assemelhou ao capim elefante.

Portanto, para cultivar cana-de-açúcar de origem cubana (açúcar C90-176 e C90-178) em Latossolos da Chapada do o uso de gesso parece ser indispensável, independente da acidez dos solos em subsuperfície. Por outro lado, o capim elefante pode ser cultivado sem a presença de gesso, desde que não seja necessário seu uso como corretivo. Santos et al. (2013) trabalhando

com três variedades de capim elefante nesse mesmo solo não observaram diferenças entre as variedades de capim na redução dos teores de Ca^{2+} . Entretanto, nesse trabalho não havia outras gramíneas para serem comparadas ao capim elefante utilizado.

Tabela 3. Contrastes ortogonais para teor de cálcio trocável no solo em três profundidades após cultivo de diferentes fontes de energia de biomassa com aplicação de gesso mineral

| Profundidade 0,0 - 0,2 m | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| Fontes de energia de biomassa | | Média | | |
| | | Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 2,05 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 2,50 | | |
| Capim elefante | | 2,03 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t ($p>0,05$) | 0,768 ^{ns} | 0,068 ^{ns} | 1,607 ^{ns} | - 1,552 ^{ns} |
| Teste F ($p>0,05$) | 0,590 ^{ns} | 0,005 ^{ns} | 2,583 ^{ns} | 2,408 ^{ns} |
| Profundidade 0,2 - 0,4 m | | | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 1,09 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 1,22 | | |
| Capim elefante | | 1,43 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t ($p>0,05$) | - 2,197* | - 2,306* | - 1,147 ^{ns} | - 0,736 ^{ns} |
| Teste F ($p>0,05$) | 4,826* | 5,317* | 1,316 ^{ns} | 0,541 ^{ns} |
| Profundidade 0,4 - 0,6 m | | | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 0,85 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 0,86 | | |
| Capim elefante | | 0,88 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t ($p>0,05$) | - 0,196 ^{ns} | - 0,224 ^{ns} | - 0,072 ^{ns} | - 0,111 ^{ns} |
| Teste F ($p>0,05$) | 0,038 ^{ns} | 0,050 ^{ns} | 0,005 ^{ns} | 0,012 ^{ns} |

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Para os teores de sulfato, o comportamento da cana-de-açúcar e do capim elefante foi semelhante ao que aconteceu com os teores de Ca^{2+} (Tabela 4).

Tabela 4. Contrastes ortogonais para sulfato em três profundidades após cultivo de diferentes fontes de energia de biomassa com aplicação de gesso mineral

| Profundidade 0,0 - 0,2 m | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| | Fontes de energia de biomassa | | | Média |
| | | | | SO_4^{2-} (mg dm ⁻³) |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 2,92 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 2,95 |
| | Capim elefante | | | 2,79 |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | 0,803 ^{ns} | 0,668 ^{ns} | 0,672 ^{ns} | - 0,110 ^{ns} |
| Teste F (p>0,05) | 0,645 ^{ns} | 0,474 ^{ns} | 0,452 ^{ns} | 0,012 ^{ns} |
| Profundidade 0,2 - 0,4 m | | | | |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 2,55 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 3,49 |
| | Capim elefante | | | 3,68 |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 3,301** | - 4,178*** | - 0,559 ^{ns} | - 2,853** |
| Teste F (p>0,05) | 10,895** | 17,453*** | 0,312 ^{ns} | 8,137** |
| Profundidade 0,4 - 0,6 m | | | | |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 7,49 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 4,27 |
| | Capim elefante | | | 7,62 |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 2,509* | - 0,244 ^{ns} | - 5,212*** | 5,013*** |
| Teste F (p>0,05) | 6,294* | 0,059 ^{ns} | 27,162*** | 25,127*** |

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

As variedades de cana-de-açúcar C90-176 e C90-178 reduziram significativamente os teores de sulfato, principalmente na camada 0,2-0,4 m de profundidade. Isto ocorreu tanto em relação ao capim elefante, como a variedade de cana-de-açúcar RB962962. No entanto, em profundidade, o sistema radicular das variedades de cana-de-açúcar C90-176 e C90-178 parecem não ser tão efetivo quanto o da variedade RB962962, assemelhando-se mais ao capim elefante.

O cultivo dessas fontes alternativas de energia no Araripe parece ter exigências nutricionais bem diferenciadas. Essa constatação é vantajosa, porque em solos em que os teores de Ca^{2+} e S forem limitantes, o cultivo de capim elefante pode ser recomendado e o de cana-de-açúcar de origem cubana (C90-176 e C90-178) deve ser evitado ou recomendado com a concomitante aplicação de gesso mineral. Como a região do Araripe é grande produtora de gesso mineral, se o desempenho energético da cana-de-açúcar de origem cubana for elevado, tornará o uso dessa biomassa viável.

Não foram observadas mudanças no pH com a aplicação de gesso mineral nas profundidades estudadas (Tabela 5), corroborando com resultados encontrados em outros trabalhos que avaliaram o uso do gesso como corretivo da acidez em profundidade (VELOSO et al., 1992; SOUZA et al., 2012; SANTOS et al., 2013). No entanto, outros estudos (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004) encontraram uma elevação do pH com o uso do gesso em camadas mais profundas do solo.

O gesso agrícola não corrige a acidez do solo, isto é, não substitui o calcário, apenas minimiza a fitotoxicidade do Al^{3+} em profundidade (VELOSO et al., 1992), contudo ocorrem situações em que o gesso pode promover um aumento no pH. De acordo com Caires et al. (2004), o aumento do pH, quando ocorre, é atribuído a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos hidratados de Fe e Al, com SO_4^{2-} deslocando OH^- e, desta forma, promovendo uma parcial neutralização da acidez.

O cultivo das gramíneas não influenciou o pH do solo nas profundidades estudadas. Essa é uma reação comum nas leguminosas, que acidificam a rizosfera, principalmente quando absorvem N-NH_4^{4+} (SOUZA et al., 2010).

Tabela 5. pH, saturação por bases (V), alumínio trocável e saturação por alumínio no solo (m) em função do cultivo de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) e da aplicação de gesso mineral em três profundidades

| Gramíneas | pH | | Média | V | | Média | Al ³⁺ | | Média | m | | Média |
|-----------------------------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|-------|------------------------------------|---------|-------|--------------------|---------|---------|
| | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | |
| | Nd | | | % | | | cmol _c dm ⁻³ | | | % | | |
| Profundidade de 0,0 – 0,2 m | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 5,09 | 5,23 | 5,16 | 62,43 | 59,09 | 60,76 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 2,32 | 3,25 | 2,78 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 5,04 | 4,95 | 5,00 | 62,73 | 62,16 | 62,44 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 2,67 | 3,17 | 2,92 |
| RB962962 ⁽²⁾ | 5,28 | 5,34 | 5,31 | 62,31 | 61,21 | 61,76 | 0,11 | 0,09 | 0,10 | 3,15 | 2,94 | 3,04 |
| Cameroon ⁽³⁾ | 5,21 | 5,49 | 5,35 | 65,34 | 63,15 | 64,24 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 2,30 | 2,20 | 2,25 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 5,36 | 5,76 | 5,56 | 59,89 | 55,13 | 57,51 | 0,13 | 0,09 | 0,11 | 4,29 | 3,58 | 3,94 |
| Média | 5,20 | 5,36 | | 62,54 | 60,15 | | 0,10 | 0,09 | | 2,95 | 3,03 | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | 2,36 ^{ns} | | | 1,39 ^{ns} | | | 1,15 ^{ns} | | | 2,56 ^{ns} | | |
| Gesso | 1,60 ^{ns} | | | 1,60 ^{ns} | | | 0,56 ^{ns} | | | 0,06 ^{ns} | | |
| Gram*Ges | 0,48 ^{ns} | | | 0,16 ^{ns} | | | 1,01 ^{ns} | | | 0,71 ^{ns} | | |
| C.V.(%) | 7,42 | | | 9,74 | | | 32,80 | | | 36,16 | | |
| Profundidade de 0,2 – 0,4 m | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 4,30 | 4,53 | 4,42 | 40,52 | 45,27 | 42,90 | 0,56 | 0,49 | 0,52 | 26,06 | 26,46 | 26,26a |
| C90-178 | 4,35 | 4,42 | 4,39 | 45,50 | 40,67 | 43,08 | 0,56 | 0,53 | 0,54 | 21,90 | 23,67 | 22,79b |
| RB962962 | 4,62 | 4,53 | 4,57 | 49,04 | 40,89 | 44,96 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 24,80 | 30,00 | 27,40a |
| Cameroon | 4,43 | 4,43 | 4,43 | 49,16 | 40,53 | 44,85 | 0,51 | 0,64 | 0,58 | 20,57 | 23,27 | 21,92b |
| Venezuela | 4,38 | 4,55 | 4,46 | 48,09 | 49,20 | 48,66 | 0,60 | 0,56 | 0,58 | 20,16 | 23,96 | 22,063b |
| Média | 4,41 | 4,49 | | 46,46 | 43,31 | | 0,55 | 0,55 | | 22,70A | 25,47B | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | 2,21 ^{ns} | | | 0,54 ^{ns} | | | 0,31 ^{ns} | | | 3,46* | | |
| Gesso | 3,16 ^{ns} | | | 1,25 ^{ns} | | | 0,01 ^{ns} | | | 5,09* | | |
| Gram*Ges | 1,71 ^{ns} | | | 0,87 ^{ns} | | | 0,46 ^{ns} | | | 0,45 ^{ns} | | |
| C.V.(%) | 3,08 | | | 19,83 | | | 27,54 | | | 16,14 | | |
| Profundidade de 0,4 – 0,6 m | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 4,45 | 4,69 | 4,57 | 37,36 | 37,70 | 37,53 | 0,56 | 0,61 | 0,59 | 32,65 | 35,22 | 33,94 |
| C90-178 | 4,44 | 4,52 | 4,48 | 39,35 | 43,04 | 41,20 | 0,63 | 0,70 | 0,66 | 29,30 | 30,68 | 29,99 |
| RB962962 | 4,60 | 4,54 | 4,57 | 38,47 | 36,94 | 37,70 | 0,79 | 0,64 | 0,72 | 29,19 | 33,78 | 31,48 |
| Cameroon | 4,50 | 4,55 | 4,53 | 35,68 | 36,26 | 35,97 | 0,62 | 0,66 | 0,64 | 32,10 | 36,81 | 34,45 |
| Venezuela | 4,58 | 4,45 | 4,52 | 39,86 | 35,91 | 37,89 | 0,73 | 0,65 | 0,69 | 29,63 | 35,73 | 32,68 |
| Média | 4,51 | 4,55 | | 38,14 | 37,97 | | 0,67 | 0,65 | | 30,57A | 34,44B | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | 0,53 ^{ns} | | | 0,92 ^{ns} | | | 0,86 ^{ns} | | | 1,87 ^{ns} | | |
| Gesso | 0,67 ^{ns} | | | 0,01 ^{ns} | | | 0,06 ^{ns} | | | 10,57** | | |
| Gram*Ges | 1,87 ^{ns} | | | 0,50 ^{ns} | | | 0,78 ^{ns} | | | 0,50 ^{ns} | | |
| C.V.(%) | 3,19 | | | 14,83 | | | 23,38 | | | 11,58 | | |

⁽¹⁾ Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾ Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾ Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott (p>0,05).

^{ns} Não Significativo; * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A saturação por bases (V) e o teor de Al^{3+} não foram influenciados pelo uso do gesso (Tabela 5). Costa et al., (2007), também não observaram influência do gesso nesses atributos químicos.

Houve uma elevação da saturação por bases em relação aos valores antes do cultivo (Tabela 1) e conseqüente redução na saturação por Al (m) nas camadas subsuperficiais (Tabela 4), sem os teores de Al^{3+} se alterarem. O que ocorreu foi que o Ca^{2+} proveniente do gesso e também do calcário que migrou para o subsolo, favoreceram o aumento da saturação por bases e conseqüentemente diminuição da saturação por Al.

Santos et al. (2013) discutem a viabilidade de avaliar a atuação do gesso pelos teores de Al^{3+} determinados pelo extrator de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, como usado neste trabalho. Se houve movimentação de gesso para camadas subsuperficiais, comprovada pelo aumento dos teores de sulfato (Tabela 2), era de se esperar que os teores de Al^{3+} se reduzissem. O que os autores afirmaram em seu trabalho é que com a aplicação de gesso ocorre a formação de um complexo catiônico $Al(SO_4)^+$, que neutraliza a ação tóxica do Al^{3+} , porém esse complexo catiônico é extraído pelo KCl e titulado pelo NaOH, mascarando o efeito no gesso. Rocha (2013) propôs estudar os compartimentos de Al do solo para que por meio deles se possa avaliar mais criteriosamente a atuação do gesso.

Para avaliar melhor a performance das gramíneas em relação a saturação por Al e estudar se o cultivo delas alterou essa saturação, foi realizado um contraste para comparar os diferentes grupos (Tabela 6).

O cultivo de capim elefante reduziu significativamente a saturação por Al em relação a cana-de-açúcar na camada 0,2-0,4 m de profundidade (Tabela 6). Isso não significa que o capim elefante reduziu os teores de Al^{3+} e nem a cana-de-açúcar é mais tolerante ao Al^{3+} . Possivelmente o capim elefante absorveu menos Ca^{2+} do que a cana-de-açúcar (Tabela 3), provocando aumento da soma de bases e conseqüentemente diminuição da saturação por Al.

Tabela 6. Contrastes ortogonais para saturação por alumínio (m) no solo em três profundidades após cultivo de diferentes fontes de energia de biomassa com aplicação de gesso mineral

| Profundidade 0,0 - 0,2 m | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Fontes de energia de biomassa | | | Média |
| | | | | m (%) |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 2,50 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 3,15 |
| | Capim elefante | | | 3,30 |
| | Contrastes | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 1,186 ^{ns} | - 1,492 ^{ns} | - 0,215 ^{ns} | - 1,003 ^{ns} |
| Teste F (p>0,05) | 1,406 ^{ns} | 2,225 ^{ns} | 0,046 ^{ns} | 1,005 ^{ns} |
| Profundidade 0,2 - 0,4 m | | | | |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 23,98 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 24,80 |
| | Capim elefante | | | 20,37 |
| | Contrastes | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | 2,189* | 1,857 ^{ns} | 1,863 ^{ns} | - 0,347 ^{ns} |
| Teste F (p>0,05) | 4,792* | 3,447 ^{ns} | 3,471 ^{ns} | 0,120 ^{ns} |
| Profundidade 0,4 - 0,6 m | | | | |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 30,98 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 29,19 |
| | Capim elefante | | | 30,87 |
| | Contrastes | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 0,281 ^{ns} | 0,061 ^{ns} | - 0,727 ^{ns} | 0,777 ^{ns} |
| Teste F (p>0,05) | 0,079 ^{ns} | 0,004 ^{ns} | 0,529 ^{ns} | 0,604 ^{ns} |

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

CONCLUSÕES

A aplicação de gesso mineral não elevou os teores de Ca^{2+} do solo em subsuperfície, porém incrementou os teores de sulfato até 0,6 m de profundidade e reduziu a saturação por Al.

Não houve alterações nos teores de Mg^{2+} e K^+ , tanto em superfície como em subsuperfície, com a aplicação do gesso mineral.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo apresentaram diferença quando cultivados com as diferentes gramíneas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, H. S. **Desempenho agroenergético, uso da água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Chapada do Araripe**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada – PE. 2013.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. **In:** RIBEIRO, A. C. et al. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação*. Viçosa, UFV, p. 43-60, 1999.

ALVAREZ V., V. H. et al. Uso de gesso agrícola. **In:** RIBEIRO, A. C. et al. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação*. Viçosa, UFV, p. 67-78, 1999.

ALVAREZ, V. H. et al. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. 1.ed., Viçosa: UFV, 131p., 2001.

CAIRES, E. F.; FELDILAU, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas-SP, v. 60, p. 213-223, 2001.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.125-136, 2004.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p., 1994.

COSTA, M. J. et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá - PR, v. 29, n. 29, p. 701-708, 2007.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. Cadastro de fontes de **abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 26p., 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p., 2011.

FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. Níveis Críticos de Enxofre em Solos de Pernambuco. **Caatinga**, Mossoró – RN, v. 20, p. 93-103, 2007(A).

FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; Costa, F. G. B. Gesso Mineral como Fonte de Enxofre para Cana-de-Açúcar. **Caatinga**, Mossoró – RN, v. 20, p. 101-109, 2007(B).

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 409-416, 2010.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 111 p., 2000.

RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1018-1026, 2013.

RECOMENDAÇÕES de adubação para o Estado de Pernambuco. 2.ed. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco, 198p., 2008.

ROCHA, I. T. M. et al. Mineral gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a promoter of biomass production of sweet sorghum. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 12, p. 1663-1670, 2014.

ROCHA, A. T. et al. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife – PE, v. 3, n. 4, p. 307-312, 2008.

ROCHA, I. T. M. **Gesso mineral no condicionamento de subsolo e na produção de sorgo em Pernambuco**. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE. 2013.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SALDANHA, E. C. M. et al. Uso de gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 1, p. 36-42, 2007.

SANTOS, R. L. et al. Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 497-505, 2012.

SANTOS, R. L. et al. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. **Australian Journal of Crop Science** (Online), v. 9, p. 1082-1088, 2015.

SANTOS, R. L. et al. Produção de capim elefante e movimentação de cátions em função de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1030-1037, 2013.

SILVA, N. M. et al. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas – SP, v. 56, n. 2, p. 389-401, 1997.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de eucalyptus no Pólo Gesseiro do Araripe – Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, vols. 5 e 6, p.301-319, 2008-2009.

SIMÕES NETO, D. E. et al. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 73-81, janeiro de 2015.

SOUZA, L. H. et al. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1641-1652, 2010.

SOUZA, F. R. et al. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, v. 49, n. 1, p. 123-128, 1992.

VERONESE, M. et al. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, ago. 2012.

Capítulo II

Nutrição de gramíneas produtoras de energia de biomassa cultivadas no
Araripe em Pernambuco

RESUMO

O uso de gramíneas como fonte de biomassa para produção de energia pode ser uma alternativa para a região do Araripe que tem sérios problemas na sua matriz energética. No entanto, essas gramíneas precisam de um fornecimento adequado de nutrientes. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional, conteúdo e eficiência do uso de nutrientes em cana-de-açúcar e capim elefante na presença e ausência de gesso mineral na Chapada do Araripe em Pernambuco. O trabalho foi realizado em campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na Chapada do Araripe, no município de Araripina. O experimento foi composto por três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; uma melhorada pelo Programa de Melhoramento Genético da RIDESA (RB 962962), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela) na presença e ausência de gesso mineral. Aos 120 e 180 dias após o plantio (DAP) realizou-se coleta da folha +3 para avaliação do estado nutricional das plantas. Aos 320 DAP foi realizado o corte das gramíneas e a parte aérea separada em folha e colmo. Nos compartimentos foram avaliados o teor, conteúdo e eficiência de utilização dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S. O conteúdo de K, Ca e Mg na parte aérea foi influenciado pelo uso do gesso, independente do tipo de gramínea cultivada. Com exceção da variedade de cana-de-açúcar RB962962 as gramíneas extraíram mais S quando o gesso foi aplicado. A eficiência de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg das gramíneas não sofreu influência da aplicação de gesso. As variedades de cana-de-açúcar cubanas C90-176 e C90-178 e a variedade de capim elefante Cameroon apresentaram menor eficiência de utilização biológica de S quando o gesso foi aplicado.

Palavras-chaves: Nutrição de plantas, gesso agrícola, biomassa

ABSTRACT

The use of gramineae as a source of biomass for energy production can be an alternative to the Araripe region that has serious problems in its energy matrix. However, these gramineae require an adequate supply of nutrients. The objective of this study was to evaluate the nutritional status, content and efficiency of nutrient use in sugarcane and elephant grass in the presence and absence of mineral plaster in the Araripe in Pernambuco. The work was conducted in the field at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in the Araripe, municipality of Araripina. The experiment consisted of three varieties of sugarcane: two Cuban origin (C90-176 and C90-178), called energy cane; one improved by the Genetic Improvement Program RIDESA (RB962962), and two varieties of elephant grass (Cameroon and Venezuela) in the presence and absence of mineral plaster. At 120 and 180 days after planting (DAP) it was collected +3 leaf to assess the nutritional status of plants. At 320 DAP was carried out the harvest of the gramineae and the shoots were separated into leaf and stalk. In compartments were evaluated the content, content and nutrient use efficiency N, P, K, Ca, Mg and S. The content of K, Ca and Mg in the shoot was influenced by the use of gypsum, regardless of the cultivated grass. Except the variety of sugarcane RB962962 the gramineae extracted more S when the plaster was applied. The efficiency of biological utilization of N, P, K, Ca and Mg of the grass was not influenced by the application of plaster. The varieties of sugarcane Cuban C90-176 and C90-178 and variety of Cameroon elephant grass showed lower efficiency of biological utilization of S when the plaster was applied.

Keywords: Plant nutrition, plaster, biomass

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) são gramíneas que se destacam pelo cultivo em todo território brasileiro devido a sua fácil adaptabilidade em regiões tropicais. A cultura da cana-de-açúcar tem sua origem na região Leste da Indonésia e Nova Guiné (DANIELS & ROACH, 2006). Ocupa uma posição de destaque no

cenário nacional brasileiro pela sua múltipla utilização, podendo ser utilizada in natura, como forragem para alimentação animal e como matéria-prima, principalmente na fabricação de açúcar e álcool (MENDES, 2006). O capim elefante é originário da África Tropical (RODRIGUES et al., 2001). Seu crescente cultivo se deve a suas características forrageiras favoráveis, como boa qualidade, palatabilidade, vigor e persistência (SOBRINHO, et al., 2005).

Além destas características, a cana de açúcar e o capim elefante possuem como importante peculiaridade a elevada produção de matéria seca por unidade de área, tornando essas gramíneas uma potencial fonte de biomassa para geração de energia (SANTOS et al., 2015). Estudos têm sido realizados avaliando a produção de matéria seca da cana-de-açúcar e do capim elefante para uso energético (LEITE, 2000; QUESADA, 2005; PINTO, 2003; OLIVEIRA, 2008; ALBUQUERQUE, 2013; SANTOS et al., 2015).

A elevada produção de matéria seca dessas gramíneas constitui uma potencial alternativa para seu uso na região do Polo Gesseiro do Araripe, que vem tendo sérios problemas ambientais pelo uso excessivo da Caatinga utilizada como fonte de biomassa, principalmente na calcinação das indústrias do gesso. No entanto, estudos precisam ser realizados para avaliar a adaptabilidade das gramíneas nessa região.

A adequada nutrição dessas gramíneas é importante por sua influência na manutenção da produtividade, principalmente em solos que apresentam baixa fertilidade natural. Nesse grupo se encontram os solos da região do Araripe, onde a maioria são Latossolos, que apresentam baixa saturação por bases e, por consequência, acidez tanto em superfície, como em subsuperfície (CAVALCANTE & LOPES, 1994), tornando o cultivo da cana-de-açúcar e do capim elefante limitados nessa região.

O uso do gesso, que é abundante nessa região, pode contribuir para a nutrição dessas gramíneas, porque sua mobilidade no perfil do solo permite um melhor desenvolvimento das raízes em profundidade e, conseqüentemente, a exploração de maior volume de solo, na busca por água e nutrientes (BASSO et al., 2015). Trabalhos têm demonstrado os efeitos positivos do uso do gesso no perfil do solo e aumentos na produtividade das culturas (RAIJ et al., 1998; CAIRES et al., 2004; CUSTÓDIO et al., 2005; SANTOS et al., 2012).

Dessa forma o uso do gesso pode promover aumentos da matéria seca das gramíneas cultivadas nos solos da região do Araripe, tornando as mesmas

potenciais fontes de biomassa para produção de energia. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional, produção de biomassa, conteúdo e eficiência do uso de nutrientes em cana-de-açúcar e capim elefante na presença e ausência de gesso mineral na chapada do Araripe em Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na Chapada do Araripe, no município de Araripina. A Estação Experimental está localizada a 690 km do Recife, tem coordenadas geográficas de 07°27'37" S e 40°24'36" W e uma altitude de 831 m. A vegetação da região é composta basicamente por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005). O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, que se inicia, geralmente, em novembro e termina em abril. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 752 mm com temperatura do ar média de 24 °C.

O experimento foi conduzido de fevereiro de 2014 a janeiro de 2015. Durante esse período foram coletados dados da precipitação pluvial local e registrado um acumulado de 436 mm, temperatura do ar média de 27 °C (Figura 1).

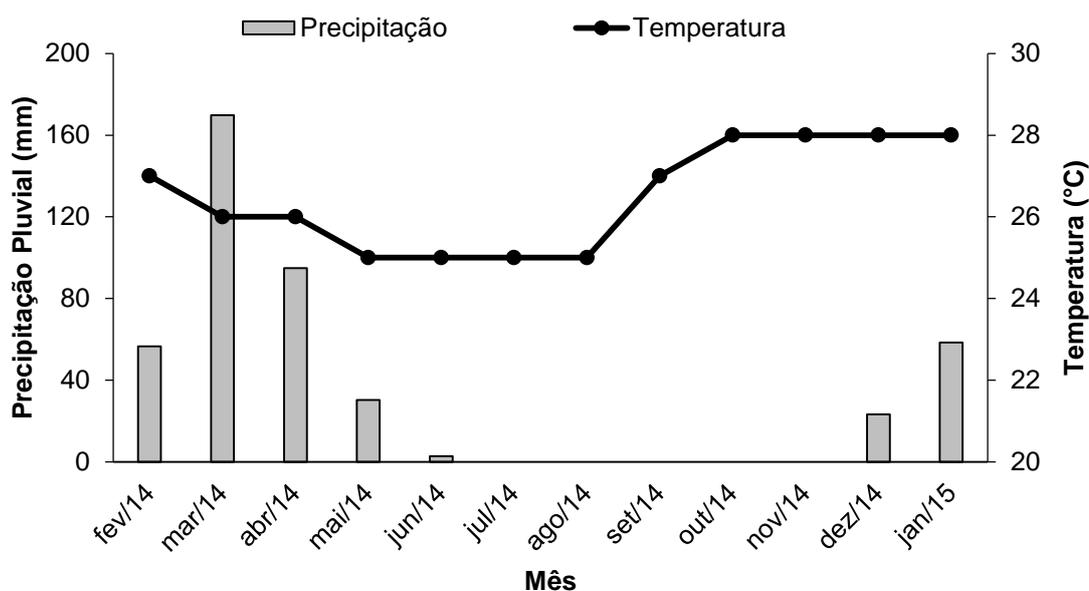


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) durante o período do ensaio de campo em Araripina.

Cavalcanti & Lopes (1994) classificaram o solo da Chapada do Araripe como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Para caracterizar o solo do local do experimento, química e fisicamente, foi realizada uma amostragem aleatória e coletadas 15 amostras simples para formação de uma composta nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m (Tabela 1).

Quimicamente o solo foi caracterizado pelo pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), P e Carbono Orgânico Total (COT). O Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com cloreto de K 1,0 mol L⁻¹; O P, K⁺ e Na⁺ com Mehlich-1; O H+Al com acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ e SO₄²⁻ com fosfato de Ca em água. O Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e (H+Al) foram determinados por titulometria; K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama; P por colorimetria, COT por combustão úmida com dicromato de K e o sulfato por turbidimetria. Todas as análises foram realizadas de acordo com os procedimentos sugeridos pela Embrapa (2011), com exceção do SO₄²⁻, que foi realizada de acordo com Alvarez et al. (2001). Com os dados obtidos foi ainda calculada a capacidade de troca de cátions efetiva, a saturação por Al e a saturação por bases.

Fisicamente o solo foi caracterizado quanto a sua granulometria, que foi determinada pelo método da pipeta segundo procedimentos recomendados por Ruiz (2005). A granulometria foi utilizada para definição da classe textural do solo. Foram também realizadas análises de densidade do solo pelo método da proveta, densidade de partículas pelo método do balão volumétrico e porosidade total (EMBRAPA, 2011).

O experimento foi composto por três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; e uma variedade (RB962962) produzida e desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo nas profundidades 0,0 - 0,2; 0,2 - 0,4 e 0,4 - 0,6 m, na área do ensaio de campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina

| Atributo | Profundidade (m) | | |
|--|------------------|---------------|---------------|
| | 0,0 - 0,2 | 0,2 - 0,4 | 0,4 - 0,6 |
| pH água (1:2,5) | 5,50 | 4,40 | 4,62 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 1,80 | 0,40 | 0,35 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,90 | 0,20 | 0,45 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,18 | 0,07 | 0,06 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| P (mg dm ⁻³) | 6,00 | 2,00 | 0,80 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,20 | 0,50 | 0,60 |
| (H + Al) (cmol _c dm ⁻³) | 2,40 | 2,50 | 2,80 |
| COT (g kg ⁻¹) ¹ | 1,79 | 0,75 | 0,45 |
| CTC potencial (cmol _c dm ⁻³) ² | 5,30 | 3,20 | 1,46 |
| CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³) ³ | 3,10 | 1,20 | 1,50 |
| m (%) ⁴ | 6,45 | 41,83 | 40,00 |
| V (%) ⁵ | 54,73 | 21,76 | 24,32 |
| S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³) | 1,30 | 0,45 | 0,46 |
| Areia Grossa (g kg ⁻¹) | 441,13 | 527,60 | 524,51 |
| Areia Fina (g kg ⁻¹) | 177,71 | 176,20 | 187,60 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 32,88 | 36,28 | 33,17 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 348,86 | 259,92 | 254,72 |
| Classe Textural | Franco Argilo | Franco Argilo | Franco Argilo |
| | Arenoso | Arenoso | Arenoso |
| Dp (kg dm ⁻³) ⁶ | 2,65 | 2,74 | 2,84 |
| Ds (kg dm ⁻³) ⁷ | 1,41 | 1,46 | 1,46 |
| PT (%) ⁸ | 46,79 | 46,59 | 48,59 |

¹ Carbono orgânico total; ² Capacidade de troca de cátions potencial; ³ Capacidade de troca de cátions efetiva; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Densidade da partícula; ⁷ Densidade do solo; ⁸ Porosidade total.

As variedades de origem cubana foram escolhidas pelos seus elevados teores de fibra e são utilizadas em Cuba como fonte de biomassa energética. A variedade RB962962, apesar de ter sido desenvolvida para produção de

açúcar, foi escolhida por sua elevada produção de matéria seca e pelo seu desempenho agroenergético constatado no trabalho de Albuquerque (2013). O capim elefante Cameroon foi escolhido por ter sido utilizado na Chapada do Araripe e apresentado bom desempenho energético (SANTOS et al., 2015) e o Venezuela foi recomendado pelo IPA para que se pudesse avaliar sua característica energética.

As gramíneas foram submetidas a duas doses de gesso mineral, 0 e 0,6 Mg ha⁻¹. A dose de gesso foi calculada de acordo com o resultado da necessidade de calagem (NC) da camada 0,2-0,6 m de profundidade (Tabela 1), utilizando-se o método da saturação por bases (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), estimando-se 60% como saturação por bases final.

De acordo com Alvarez et al. (1999), a dose de gesso deve corresponder a 25% da NC da camada de solo em subsuperfície que se pretende corrigir. No caso deste trabalho, a camada para correção considerada foi a de 0,2-0,6 m de profundidade. Como as camadas estavam divididas em extratos de 0,2 m, se calculou a soma da NC das camadas 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m e aplicou-se 25%, o que correspondeu a uma dose de gesso de 0,6 Mg ha⁻¹.

O ensaio foi disposto em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 2), com quatro repetições. Cada parcela foi composta por cinco sulcos de 10 m de comprimento, espaçados de 1 m, perfazendo uma área total de 50 m². A área útil foi formada pelas três linhas centrais, descartando-se 1 m das extremidades, o que totalizou 24 m².

A instalação do experimento foi iniciada com a distribuição a lanço de 0,3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 93%, 45 dias antes do plantio. O calcário foi incorporado com grade de disco até 0,2 m de profundidade. A necessidade de calagem foi calculada pelo método da saturação por bases (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), estimando-se 60% como saturação por bases final. O gesso foi aplicado no dia da instalação do experimento, com distribuição a lanço.

Os adubos aplicados antes das operações de plantio e após a abertura dos sulcos corresponderam a 45 kg ha⁻¹ de uréia (44% de N), 440 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (41% de P₂O₅) e 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (58% de K₂O). Aos 70 dias após o plantio (DAP) aplicou-se em cobertura mais 90 kg ha⁻¹ de ureia e 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada e potássica foi dividida em 1/3 no plantio no fundo sulco e 2/3 em cobertura na

linha de plantio, porque o solo tinha elevados teores de areia (Tabela 1). As adubações com N e K foram realizadas de acordo com o Manual de Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO, 2008) e a adubação com P de acordo com Simões Neto et al. (2015).

O plantio das gramíneas foi realizado em sulcos abertos com 0,2 m de profundidade, onde foram distribuídos os propágulos vegetativos: 14 t ha⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar e 4 t ha⁻¹ de colmos de capim elefante, sendo dispostos nos sulcos como corrente dupla, de modo que a ponta de uma coincida com a base da outra. Posteriormente, os colmos de ambas as espécies vegetais foram rebolados em toletes com 4 a 5 gemas, e em seguida os sulcos foram fechados.

Aos 120 e 180 dias após o plantio (DAP) foram coletas folhas +3 na parcela útil para avaliação do estado nutricional das plantas. Foram coletadas 10 folhas em amostragem inteiramente aleatória na área útil das parcelas. A nervura central foi removida, como também, as extremidades das folhas e em seguida colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de peso constante.

O corte das gramíneas foi realizado aos 320 dias após o plantio. Foi coletada na parcela útil a parte aérea das plantas e separadas em folhas e colmos e em seguida pesadas e trituradas em forrageira. Uma subamostra foi retirada, pesada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C para obtenção de massa seca. Com a contagem dos perfilhos por metro linear foi estimada a produção de matéria seca das gramíneas da parcela útil, corrigindo falhas da brotação do material utilizado no plantio. Com a produção da área da parcela útil, calculou-se a produção por hectare.

Nas folhas +3 e na biomassa foram determinados os teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). O N foi determinado por digestão sulfúrica, destilação e titulação pelo método de Kjeldahl. O P, K, Ca e Mg foram obtidos por digestão nitro-perclórica e no extrato foram determinados P por colorimetria, K por fotometria de chama, Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica e S por turbidimetria (EMBRAPA, 2009).

Com o teor dos nutrientes na biomassa aérea (colmo e folha) e a produção de matéria seca foi calculada a quantidade extraída de nutrientes nos dois compartimentos; a eficiência nutricional de cada nutriente foi calculada

pela razão entre a quantidade de matéria seca produzida e a quantidade de nutriente extraído do solo.

Os dados das variáveis de planta foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Quando os efeitos principais e/ou interação tiveram significância estatística foi aplicado nos dados o teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade. Para conteúdo de nutrientes da parte aérea foram realizados contrastes ortogonais e os testes t, e F a 5% de probabilidade na presença e ausência de gesso mineral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando o estado nutricional das gramíneas aos 4 e 6 meses após o plantio (Tabela 2), observou-se que os teores encontrados nas gramíneas para N, P, Mg e S foram de modo geral considerados dentro da faixa adequada (SILVA, 2009).

Os teores de Ca e K estavam acima dos valores limites da faixa adequada (SILVA, 2009). A aplicação de calcário juntamente com o gesso podem ter promovido aumento do teor Ca na folha. Santos et al. (2012), também encontraram elevados teores de Ca na folha +3 de capim elefante associados a aplicação de calcário e gesso. Valores mais elevados de K podem ter ocorrido possivelmente pela adubação em cobertura realizada 70 DAP, minimizando a lixiviação. É possível também que o Ca^{2+} fornecido pelo calcário e o gesso tenha deslocado K^+ das micelas de argila pelo efeito de fluxo de massa, principalmente porque o Ca é divalente positivo e o K monovalente, favorecendo o deslocamento e tornando o K mais acessível às plantas.

O teor dos nutrientes diferiu nos períodos avaliados, havendo uma diminuição para a maioria dos nutrientes do quarto para o sexto mês (Tabela 2). Déficit hídrico acentuado pode diminuir a disponibilidade dos nutrientes e reduzir a atividade metabólica da planta, promovendo uma diluição dos mesmos nos tecidos da parte aérea com o aumento da fitomassa (OLIVEIRA, 2011). Na primeira avaliação ocorreram precipitações pluviais elevadas na região, porém na segunda avaliação as chuvas já tinham cessado (Figura 1), o que pode ter contribuído para a diminuição dos teores dos nutrientes nas gramíneas.

Tabela 2. Estado nutricional de nitrogênio, fósforo, potássio cálcio, magnésio e enxofre na folha índice (folha +3) de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) com e sem aplicação de gesso mineral aos quatro e seis meses após o plantio

| Gramíneas | Teor de nutrientes na folha +3 aos quatro meses de idade | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------|--------|---------|---------|-------|----------|---------|-------|---------|---------|-------|----------|---------|-------|---------|---------|---------|
| | Nitrogênio | | | Fósforo | | | Potássio | | | Cálcio | | | Magnésio | | | Enxofre | | |
| | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média |
| | -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 15,82 | 15,77 | 15,80b | 2,67bA | 1,90cA | 2,29 | 32,21 | 34,20 | 33,20 | 15,52 | 14,75 | 15,14 | 1,14aB | 1,91aA | 1,52 | 3,36 | 1,69 | 2,53 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 16,07 | 15,85 | 15,96b | 2,15bA | 2,18cA | 2,17 | 31,21 | 32,23 | 31,72 | 14,33 | 15,81 | 15,07 | 0,64bA | 0,91bA | 0,78 | 2,84 | 1,49 | 2,14 |
| RB962962 ⁽²⁾ | 17,46 | 20,19 | 18,82b | 3,23aA | 4,01bA | 3,62 | 30,74 | 28,37 | 29,56 | 14,66 | 14,43 | 14,55 | 1,28aB | 1,90aA | 1,59 | 2,50 | 1,69 | 2,10 |
| Cameron ⁽³⁾ | 27,53 | 26,83 | 27,18a | 3,66aB | 4,75aA | 4,20 | 28,81 | 31,03 | 29,92 | 15,49 | 14,68 | 15,09 | 1,39aA | 1,13bA | 1,26 | 2,56 | 1,84 | 2,20 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 23,38 | 26,01 | 24,69a | 4,08aA | 3,84bA | 3,96 | 30,88 | 34,08 | 32,48 | 17,40 | 14,18 | 15,79 | 0,93bA | 0,94bA | 0,93 | 2,66 | 1,13 | 1,90 |
| Média | 20,05 | 20,93 | | 3,16 | 3,34 | | 30,77 | 31,98 | | 15,48 | 14,77 | | 1,07 | 1,36 | | 2,80a | 1,60b | |
| | F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 7,93** | | | 23,27** | | | | | 0,25ns | | | | 10,80** | | | | 2,06ns |
| Gesso | | 0,28ns | | | 1,04ns | | | | | 0,18ns | | | | 8,53** | | | | 73,64** |
| Gram*Ges | | 0,20ns | | | 3,66* | | | | | 0,11ns | | | | 3,78* | | | | 1,85ns |
| C.V.(%) | | 25,45 | | | 17,23 | | | | | 22,89 | | | | 25,19 | | | | 20,60 |
| | Teor de nutrientes na folha +3 aos seis meses de idade | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 9,47 | 10,71 | 10,90b | 2,13 | 2,13 | 2,13b | 27,44 | 20,09 | 23,76 | 22,61 | 21,92 | 22,26 | 1,59aA | 1,66bA | 1,63 | 1,93 | 0,64 | 1,29b |
| C90-178 | 9,89 | 9,05 | 9,47b | 2,05 | 1,36 | 1,71b | 29,91 | 32,57 | 31,24 | 18,70 | 22,13 | 20,42 | 1,95aA | 2,19aA | 2,07 | 3,06 | 1,53 | 2,29a |
| RB962962 | 12,15 | 10,92 | 11,54b | 2,86 | 2,36 | 2,60a | 21,54 | 23,92 | 22,73 | 20,06 | 21,49 | 20,78 | 1,61aA | 1,85bA | 1,73 | 2,56 | 1,43 | 2,00a |
| Cameron | 15,68 | 16,66 | 16,17a | 1,96 | 2,44 | 2,20b | 25,15 | 30,75 | 27,95 | 21,50 | 23,36 | 22,43 | 1,82aA | 1,76bA | 1,79 | 2,12 | 1,13 | 1,63b |
| Venezuela | 15,68 | 13,15 | 14,42a | 2,31 | 2,92 | 2,61a | 19,87 | 29,30 | 24,59 | 20,91 | 23,18 | 22,05 | 1,26aB | 2,30aA | 1,78 | 2,33 | 1,25 | 1,79b |
| Média | 12,58 | 12,10 | | 2,26 | 2,24 | | 24,78 | 27,32 | | 20,76 | 22,42 | | 1,64 | 1,95 | | 2,40a | 1,20b | |
| | F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 8,52** | | | 3,35* | | | | | 1,07ns | | | | 1,74ns | | | | 5,49** |
| Gesso | | 0,30ns | | | 0,02ns | | | | | 0,70ns | | | | 7,55* | | | | 69,16** |
| Gram*Ges | | 0,64ns | | | 1,95ns | | | | | 0,84ns | | | | 2,95* | | | | 0,42ns |
| C.V.(%) | | 22,53 | | | 25,94 | | | | | 36,75 | | | | 19,56 | | | | 25,46 |

⁽¹⁾ Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾ Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾ Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott ($p > 0,05$). ns Não Significativo; * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

É importante ressaltar que o regime hídrico é um dos fatores climáticos que podem limitar o uso de gramíneas na região como fonte alternativa de biomassa. Como se observou, há uma redução significativa, principalmente de N, entre o quarto e o sexto mês na folha +3, que pode comprometer a produção de matéria seca, pela importância desse nutriente nessa conversão nutrição/matéria seca.

As gramíneas se diferenciaram significativamente em seus teores de N na folha +3 aos 4 e 6 meses, com as variedades de capim elefante tendo maiores valores desse nutriente em relação a cana-de-açúcar, independente do tempo avaliado (Tabela 2).

Aos 4 meses o teor de P no capim Cameroon foi menor nas plantas que receberam gesso (Tabela 2). Santos et al. (2012), trabalhando com diferentes variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso, também encontraram a mesma resposta na folha +3 para o capim Cameroon. Esses autores indicaram que é provável que, mesmo com o deslocamento de P pelo SO_4^{2-} no solo, o capim Cameroon tenha apresentado uma preferência de absorção por SO_4^{2-} em relação a P. Isso pode ser comprovado neste trabalho, porque o gesso promoveu aumento de S nas plantas, independente do tipo de gramínea cultivada (Tabela 2). Aos 6 meses as gramíneas se diferenciaram estatisticamente quanto ao teor de P, com a variedade de cana-de-açúcar RB962962 e o capim elefante Venezuela tendo maiores valores.

O uso do gesso proporcionou menores teores de Mg nas variedades de cana-de-açúcar C90-176 e RB962962 aos 4 meses (Tabela 2). Aos 6 meses o capim Venezuela teve menor teor.

O teor de S na folha +3 nas gramíneas aos 4 e 6 meses foi superior nas parcelas submetidas à prática da gessagem (Tabela 2). O gesso além de Ca, também disponibiliza S no solo favorecendo a absorção desse nutriente pelas plantas.

A produção de matéria seca total das gramíneas foi abaixo do encontrado em outras pesquisas com cana-de-açúcar e capim elefante (PINTO et al., 2003; OLIVEIRA, 2008; QUESADA, 2005; FLORES, 2009; THIAGO, 2009) (Tabela 3).

Dentre os principais fatores que limitam a produtividade das culturas em solos aráveis em várias partes do mundo destacam-se a deficiência hídrica e o estresse nutricional (FAGERIA, 1998). Durante a condução do experimento a

precipitação acumulada foi de 436 mm, bem abaixo à média anual da região (752 mm), o que contribuiu para a baixa produção de matéria seca das gramíneas.

No entanto, com uma precipitação pluvial que foi praticamente metade da média anual da região, ainda se conseguiu produção de matéria seca em torno de 19 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). Se essa produção for diretamente proporcional a mm de chuva, pode-se estimar produções de 40 Mg ha⁻¹, quando as condições forem, no mínimo, dentro da média anual da região.

Tabela 3. Umidade e produção de matéria seca na parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) e em função da aplicação de gesso mineral

| Gramíneas | Matéria seca da parte aérea | | Média |
|--------------------------|--------------------------------|---------|-------|
| | C/Gesso | S/Gesso | |
| | -----Mg ha ⁻¹ ----- | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 18,04Aa | 15,48Aa | 16,76 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 17,23Aa | 12,50Ba | 14,86 |
| RB96292 ⁽²⁾ | 14,92Aa | 13,58Aa | 14,25 |
| Cameron ⁽³⁾ | 18,63Aa | 12,12Ba | 15,37 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 19,14Aa | 9,67Ba | 14,41 |
| Média | 17,59 | 12,67 | |
| | F (análise de variância) | | |
| Gramíneas | | 1,29ns | |
| Gesso | | 38,25** | |
| Gram*Ges | | 3,29* | |
| C.V.(%) | | 16,64 | |

⁽¹⁾Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott (p>0,05).

^{ns} Não Significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

O uso do gesso promoveu aumento de matéria seca e esse efeito benéfico dependeu do tipo de gramínea avaliada. Na variedade de cana-de-açúcar C90-178 e nas variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela, ocorreu um incremento de 5, 7 e 9 Mg ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente (Tabela 4). As variedades de cana-de-açúcar C90-176 e a RB962962 não se diferiram estatisticamente. Santos et al. (2012) encontraram um aumento de

9 Mg ha⁻¹ no capim elefante Cameroon, quando o gesso foi aplicado. Albuquerque (2013) não encontrou diferença na produção de matéria seca na variedade RB962962 com o uso do gesso, corroborando com os resultados do deste trabalho.

De maneira geral, observou-se diferença nos teores dos nutrientes na biomassa dos compartimentos folha e colmo, com maiores teores na folha (Tabela 4). Maiores teores de nutrientes nas folhas deve-se a maior atividade metabólica e transpiratória nesse compartimento, que faz com que os nutrientes móveis sejam mobilizados do floema para as folhas, principalmente as mais novas (LAL, 1951). Oliveira (2011) e Oliveira et al. (2016), em estudo com de cana-de-açúcar, observaram maiores teores no compartimento folha, principalmente nas folhas mais novas.

O uso do gesso promoveu diferença nos teores de S nos compartimentos folha e colmo e nos teores de P no colmo, porém dependeu do tipo de gramínea (Tabela 4).

Maior teor de N foi encontrado na variedade de capim elefante Cameroon e menor na variedade Venezuela, tanto na folha como no colmo, destacando a maior exigência do capim Cameroon a esse nutriente em relação às outras gramíneas.

Para P na folha, as variedades de cana-de-açúcar de origem cubana absorveram menos esse nutriente (Tabela 4). No colmo, o gesso promoveu uma diminuição no teor de P apenas na variedade de cana-de-açúcar RB962962. Dentro do grupo onde o gesso foi aplicado, apenas o capim Venezuela teve maior teor em relação às outras gramíneas. Na ausência de gesso a cana-de-açúcar RB962962 e o capim Venezuela de destacaram com maiores teores.

As gramíneas só se diferenciaram significativamente nos teores de Ca e Mg no compartimento colmo e tiveram o mesmo comportamento, com maiores teores na variedade de cana-de-açúcar C90-176 e no capim Cameroon (Tabela 4). O uso do gesso promoveu aumento no teor de S na biomassa de folha na variedade de cana-de-açúcar C90-176 e no capim elefante Cameroon (Tabela 4). Nas parcelas onde o gesso foi aplicado, a cana-de-açúcar C90-176 e o capim Cameroon absorveram mais S. Na ausência de gesso as gramíneas não se diferiram.

Tabela 4. Teor de nitrogênio, fósforo, potássio cálcio, magnésio e enxofre nos compartimentos folha e colmo da parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) com e sem aplicação de gesso mineral aos 320 dias após o plantio (DAP)

| Teor de nutrientes no compartimento folha | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---------|--------|---------|---------|-------|----------|---------|-------|---------|---------|-------|----------|---------|-------|---------|---------|---------|
| Gramíneas | Nitrogênio | | | Fósforo | | | Potássio | | | Cálcio | | | Magnésio | | | Enxofre | | |
| | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média |
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 10,13 | 10,90 | 10,51b | 1,31 | 1,17 | 1,24b | 7,25 | 6,53 | 6,89 | 4,25 | 4,67 | 4,46 | 1,96 | 1,45 | 1,70 | 1,24aA | 0,55aB | 0,89a |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 10,60 | 10,92 | 10,76b | 1,10 | 1,30 | 1,20b | 6,94 | 6,83 | 6,89 | 4,45 | 4,28 | 4,36 | 1,92 | 1,95 | 1,94 | 0,50bA | 0,58aA | 0,54b |
| RB962962 ⁽²⁾ | 9,08 | 9,48 | 9,28b | 1,57 | 1,72 | 1,65a | 7,38 | 7,01 | 7,20 | 4,21 | 4,26 | 4,24 | 1,90 | 2,11 | 2,00 | 0,53bA | 0,45aA | 0,49b |
| Cameroon ⁽³⁾ | 19,57 | 20,36 | 19,96a | 1,73 | 1,50 | 1,61a | 7,66 | 9,31 | 8,48 | 4,81 | 5,11 | 4,96 | 1,51 | 1,82 | 1,66 | 1,16aA | 0,64aB | 0,90a |
| Venezuela ⁽³⁾ | 8,10 | 7,00 | 7,55c | 2,10 | 2,16 | 2,13a | 7,50 | 8,50 | 8,00 | 5,20 | 4,80 | 5,00 | 2,00 | 1,80 | 1,90 | 0,42bA | 0,33aA | 0,38b |
| Média | 11,49 | 11,73 | | 1,56 | 1,57 | | 7,35 | 7,64 | | 4,58 | 4,62 | | 1,86 | 1,83 | | 0,77a | 0,51b | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 40,26** | | | 4,09* | | | 1,09ns | | | 0,73ns | | | 0,91ns | | | | 13,15** |
| Gesso | | 0,12ns | | | 0,00ns | | | 0,22ns | | | 0,01ns | | | 0,05ns | | | | 19,15** |
| Gram*Ges | | 0,26ns | | | 0,25ns | | | 0,53ns | | | 0,17ns | | | 1,09ns | | | | 5,99** |
| C.V.(%) | | 18,57 | | | 33,68 | | | 25,87 | | | 25,38 | | | 24,21 | | | | 29,40 |
| Teor de nutrientes no compartimento colmo | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 9,45 | 10,57 | 10,01b | 0,41bA | 0,41bA | 0,41c | 6,53 | 6,61 | 6,57 | 1,86 | 1,93 | 1,90b | 1,51 | 1,85 | 1,68b | 2,15aA | 0,73bB | 1,44 |
| C90-178 | 9,34 | 9,85 | 9,59b | 0,42bA | 0,64bA | 0,53c | 6,14 | 6,20 | 6,17 | 2,33 | 2,55 | 2,44a | 1,94 | 2,07 | 2,01a | 1,95aA | 0,66bB | 1,30 |
| RB962962 | 8,72 | 8,59 | 8,65b | 0,61bB | 1,24aA | 0,92b | 6,01 | 5,72 | 5,87 | 1,74 | 1,82 | 1,78b | 1,35 | 1,44 | 1,40b | 1,15bA | 1,12aA | 1,13 |
| Cameroon | 14,53 | 12,16 | 13,35a | 0,66bA | 0,43bA | 0,55c | 6,50 | 6,38 | 6,44 | 2,47 | 2,28 | 2,38a | 1,96 | 2,07 | 2,01a | 1,55bA | 0,95bB | 1,25 |
| Venezuela | 7,70 | 6,40 | 7,05c | 1,34aA | 1,24aA | 1,29a | 6,10 | 5,80 | 5,95 | 2,20 | 1,95 | 2,08b | 1,60 | 1,70 | 1,65b | 1,32bA | 1,39aA | 1,36 |
| Média | 9,95 | 9,51 | | 0,69 | 0,79 | | 6,26 | 6,14 | | 2,12 | 2,11 | | 1,67 | 1,83 | | 1,62 | 0,97 | |
| F (análise de variância) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 11,33** | | | 18,47** | | | 0,20ns | | | 3,33* | | | 2,79* | | | | 2,16ns |
| Gesso | | 0,50ns | | | 1,84ns | | | 0,04ns | | | 0,00ns | | | 1,21ns | | | | 90,36** |
| Gram*Ges | | 1,04ns | | | 3,942* | | | 0,02ns | | | 0,39ns | | | 0,12ns | | | | 19,95** |
| C.V.(%) | | 20,03 | | | 32,38 | | | 30,67 | | | 21,29 | | | 25,37 | | | | 16,88 |

⁽¹⁾ Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾ Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾ Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott (p>0,05). ns Não Significativo; * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A diferença nos teores de S na biomassa do colmo com uso do gesso ocorreu nas variedades de cana-de-açúcar C90-178 e C90-176 e na variedade de capim elefante Cameroon, onde foram encontrados os maiores teores. Quando aplicado gesso as cana-de-açúcar de origem cubana se destacaram com maiores teores e quando o gesso não foi aplicado, a variedade RB962962 e a variedade de capim Venezuela tiveram maiores teores.

Mesmo não havendo diferença no teor de Ca nas diferentes gramíneas com o uso do gesso, a preferência de algumas gramíneas pelo S demonstra a importância do gesso no fornecimento deste insumo dessas gramíneas.

Teores de nutrientes na biomassa em final de ciclo pode ser muito variável e pouco se pode discutir baseado em seus resultados. Há efeitos de diluição e concentração que não permitem uma avaliação mais criteriosa. No entanto, é uma determinação obrigatória para se calcular a extração de nutrientes e seu acúmulo na biomassa.

O conteúdo de nutrientes foi maior no compartimento colmo em relação à folha (Tabela 5). O compartimento folha tinha maiores teores para a maioria dos nutrientes em relação ao colmo (Tabela 4), no entanto, o maior conteúdo no colmo ocorreu pela maior produção de matéria seca nesse compartimento.

No compartimento folha o uso do gesso aumentou o conteúdo de todos os nutrientes, independente do tipo de gramínea, com exceção do S, em que o gesso só se diferenciou estatisticamente na cana-de-açúcar C90-176 e no capim Cameron (Tabela 5). Entre as gramíneas, a variedade de cana-de-açúcar C90-176 foi a que acumulou mais N, P, K, Ca e Mg.

No compartimento colmo o uso do gesso promoveu aumento no conteúdo de N apenas nas variedades de capim elefante (Tabela 5). O conteúdo de P no colmo da variedade de cana-de-açúcar RB962962 foi maior quando não foi aplicado gesso. Nas variedades de capim elefante o gesso proporcionou um aumento no conteúdo de P.

O conteúdo de K no colmo foi maior quando se aplicou gesso, independente do tipo de gramínea (Tabela 5). Para Ca, o uso do gesso promoveu aumento no conteúdo desse nutriente no colmo apenas nas variedades de capim elefante. O capim elefante Cameroon extraiu e alocou mais Mg no colmo do que todas as demais gramíneas. Com exceção da variedade de cana-de-açúcar RB962962, todas as gramíneas incrementaram o conteúdo de S no colmo, quando o gesso foi aplicado (Tabela 5).

Tabela 5. Conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nos compartimentos folha e colmo da parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) com e sem aplicação de gesso mineral aos 320 dias após o plantio (DAP)

| Gramíneas | Conteúdo de nutrientes no compartimento folhas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|----------|---------|---------|---------|-------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | Nitrogênio | | | Fósforo | | | Potássio | | | Cálcio | | | Magnésio | | | Enxofre | | |
| | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média |
| | kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 87,96 | 67,86 | 77,91a | 12,09 | 7,36 | 9,73a | 57,08 | 39,46 | 48,27a | 36,65 | 28,79 | 32,72a | 16,12 | 9,62 | 12,87a | 10,25Aa | 3,38aB | 6,81 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 65,55 | 45,74 | 55,65b | 6,66 | 5,67 | 6,16b | 40,66 | 28,12 | 34,39b | 27,00 | 16,40 | 21,70b | 11,54 | 7,70 | 9,62b | 2,89Ac | 2,18aA | 2,53 |
| RB962962 ⁽²⁾ | 32,10 | 32,00 | 32,05c | 5,67 | 5,75 | 5,71b | 25,95 | 24,01 | 24,98b | 14,97 | 14,30 | 14,63b | 6,76 | 7,08 | 6,92c | 1,90Ac | 1,51aA | 1,70 |
| Cameron ⁽³⁾ | 79,13 | 26,96 | 53,05b | 7,08 | 1,96 | 4,52b | 31,44 | 12,01 | 21,73b | 19,66 | 6,74 | 13,20b | 6,37 | 2,36 | 4,37c | 4,70Ab | 0,85aB | 2,78 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 30,77 | 16,39 | 23,58c | 8,18 | 5,09 | 6,64b | 28,63 | 20,13 | 24,38b | 19,40 | 11,36 | 15,38b | 7,74 | 4,20 | 5,97c | 1,58Ac | 0,79aA | 1,18 |
| Média | 59,10A | 37,79B | | 7,94A | 5,17B | | 36,75A | 24,75B | | 23,54A | 15,52B | | 9,71A | 6,19B | | 4,26 | 1,74 | |
| | F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 8,61** | | | 3,24* | | | 9,00** | | | 8,94** | | | 12,92** | | | | 16,55** |
| Gesso | | 10,70** | | | 8,24** | | | 13,63** | | | 11,06** | | | 17,83** | | | | 26,60** |
| Gram*Ges | | 1,71ns | | | 1,12ns | | | 0,95ns | | | 0,73ns | | | 1,73ns | | | | 6,59** |
| C.V.(%) | | 42,53 | | | 46,58 | | | 33,43 | | | 39,05 | | | 33,12 | | | | 51,52 |
| | Conteúdo de nutrientes no compartimento colmos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 91,78Ab | 95,59Aa | 93,69b | 3,88Ac | 3,75Ac | 3,82 | 56,82 | 61,11 | 58,97 | 17,89Ab | 17,73Aa | 17,81 | 13,81 | 17,19 | 15,50b | 21,00Aa | 6,70Ba | 13,85 |
| C90-178 | 103,92Ab | 81,12Aa | 92,53b | 4,64Ac | 5,45Ac | 5,05 | 68,14 | 53,54 | 60,84 | 26,36Ab | 21,87Aa | 24,11 | 21,60 | 17,33 | 19,47b | 21,36Aa | 5,66Ba | 13,51 |
| RB962962 | 98,62Ab | 89,64Aa | 94,13b | 6,92Bb | 12,53Aa | 9,72 | 67,42 | 59,51 | 63,47 | 20,06Ab | 18,95Aa | 19,50 | 15,33 | 14,99 | 15,16b | 13,02Ab | 11,53Aa | 12,27 |
| Cameron | 211,38Aa | 130,33Ba | 170,86a | 9,71Ab | 4,65Bc | 7,178 | 93,34 | 67,07 | 80,20 | 36,15Aa | 25,03Ba | 30,59 | 28,48 | 23,29 | 25,89a | 22,63Aa | 10,20Ba | 16,42 |
| Venezuela | 120,17Ab | 46,34Bb | 83,25b | 20,70Aa | 8,99Bb | 14,85 | 95,43 | 42,12 | 68,77 | 33,59Aa | 14,35Ba | 23,97 | 25,46 | 12,33 | 18,89b | 20,57Aa | 10,14Ba | 15,36 |
| Média | 125,17 | 88,61 | | 9,17 | 7,07 | | 76,23A | 56,67B | | 26,81 | 19,58 | | 20,93 | 17,02 | | 19,72 | 8,85 | |
| | F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 12,94** | | | 27,06** | | | 1,16ns | | | 4,44** | | | 3,65* | | | | 1,50ns |
| Gesso | | 16,65** | | | 7,76** | | | 7,65* | | | 11,73** | | | 3,74ns | | | | 84,34** |
| Gram*Ges | | 3,70* | | | 15,27** | | | 1,91ns | | | 2,86* | | | 1,87ns | | | | 4,49** |
| C.V. (%) | | 26,51 | | | 29,30 | | | 33,65 | | | 28,76 | | | 33,69 | | | | 26,21 |

⁽¹⁾ Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾ Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾ Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott ($p > 0,05$). ^{ns} Não Significativo; * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

De maneira geral, o efeito do gesso como promotor da melhoria da nutrição das gramíneas foi evidenciado pelo maior acúmulo de nutrientes quando o gesso foi aplicado. Isso é relevante em uma região em que a produção de gesso mineral é abundante e precisa encontrar alternativas de outras biomassas como fonte de energia, além do uso da Caatinga. Plantas adequadamente nutridas, são mais eficientes no uso da água e na conversão dessa nutrição em produção de matéria seca, que é fundamental em culturas agroenergéticas.

Foram realizados contrastes ortogonais entre as diferentes fontes de energia de biomassa de forma agrupada para o conteúdo de N, P e S na presença e ausência de gesso mineral e Ca, Mg e K na presença de gesso (Tabelas 6, 7 e 8). Eles são ferramentas estatísticas importantes na comparação da extração de nutrientes entre os grupos de gramíneas. Esses contrastes foram realizados com o conteúdo total extraído pelas gramíneas na parte aérea, ou seja, com o que foi extraído nas folhas mais o que se acumulou nos colmos.

Na ausência de gesso mineral o grupo das canas de origem cubana diferiu da cana-de-açúcar RB962962 no conteúdo de P (Tabela 6), onde a RB962962 extraiu mais sendo, portanto, as variedades cubanas menos acumuladoras nesse nutriente. Para N e S não houve diferença entre os grupos de gramíneas.

Na presença de gesso, observou-se para N e P que o grupo dos capins elefante extraiu mais em relação ao grupo das cubanas e da cana-de-açúcar RB962962 (Tabela 7), sugerindo a necessidade de uma adubação mais criteriosa desses nutrientes para o capim elefante com o uso do gesso. Para S na presença de gesso, o grupo das cubanas se destacou extraindo mais S em relação ao grupo dos capins e da cana-de-açúcar RB962962. No entanto, essa cana-de-açúcar extraiu menos S que os capins.

Quando o gesso foi aplicado, o grupo dos capins extraiu mais Ca em relação ao grupo das cubanas e da cana-de-açúcar RB962962 (Tabela 8), o que torna essas gramíneas acumuladoras de Ca. O grupo dos capins extraiu mais Mg em relação a cana-de-açúcar RB962962 e não diferiu das cubanas. Não houve diferença nos contrastes realizados para K entre os diferentes grupos de gramíneas, confirmando que as gramíneas não se diferenciaram na extração desse nutriente.

Tabela 6. Contrastes ortogonais para conteúdo de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa sem aplicação de gesso mineral

| Nitrogênio | | | | |
|------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| | Fontes de energia de biomassa | | | Média |
| | | | | N (Kg ha ⁻¹) |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 145,16 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 121,64 |
| | Capim elefante | | | 110,01 |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | 0,496ns | 0,818ns | - 0,227ns | 0,895ns |
| Teste F (p>0,05) | 0,246ns | 0,670ns | 0,052ns | 0,802ns |
| Fósforo | | | | |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 24,95 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 39,87 |
| | Capim elefante | | | 41,91 |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | 0,398ns | - 0,509ns | 1,722ns | - 2,137* |
| Teste F (p>0,05) | 0,159ns | 0,259ns | 2,964ns | 4,567* |
| Enxofre | | | | |
| | Cana-de-açúcar de origem cubana | | | 8,96 |
| | Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | | 13,04 |
| | Capim elefante | | | 10,99 |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | 0,258ns | - 0,038ns | 0,639ns | - 0,670ns |
| Teste F (p>0,05) | 0,067ns | 0,001ns | 0,408ns | 0,448ns |

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

As variedades de capim elefante utilizadas quando cultivadas com aplicação de gesso são muito extratoras de nutrientes, o que deverá exigir solos mais férteis que viabilizem essa extração. Como essa não é uma condição comum dos solos da Chapada do Araripe e a utilização de fertilizantes nitrogenados e fosfatados poderá inviabilizar economicamente o cultivo, parece mais recomendável utilizar esse tipo gramínea sem aplicação de

gesso. Nessa condição, essas variedades de capim elefante são menos exigentes, porém pode comprometer a produção de matéria seca.

Tabela 7. Contrastes ortogonais para conteúdo de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa com aplicação de gesso mineral

| Nitrogênio | | | | |
|-----------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| Fontes de energia de biomassa | | Média | | |
| | | N (Kg ha ⁻¹) | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 174,61 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 130,72 | | |
| Capim elefante | | 220,73 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 3,957*** | - 2,870** | - 4,162*** | 1,819ns |
| Teste F (p>0,05) | 15,656*** | 8,235** | 17,318*** | 3,307ns |
| Fósforo | | | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 29,67 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 32,96 | | |
| Capim elefante | | 55,97 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 4,844*** | - 4,614*** | - 3,296** | - 0,471ns |
| Teste F (p>0,05) | 23,462*** | 21,289*** | 10,865** | 0,222ns |
| Enxofre | | | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 27,74 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 14,91 | | |
| Capim elefante | | 24,75 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | 0,116ns | 2,060* | - 3,104** | 4,786*** |
| Teste F (p>0,05) | 0,013ns | 4,243* | 9,636** | 22,907*** |

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

A aplicação de gesso parece ser recomendável para a cana-de-açúcar comparativamente as variedades de capim elefante, porque mesmo na presença de gesso não foram tão exigentes nutricionalmente, principalmente a RB962962. No entanto, é necessária uma avaliação criteriosa dos indicadores energéticos para que possa haver uma recomendação mais consistente.

Tabela 8. Contrastes ortogonais para conteúdo de cálcio, magnésio e potássio na parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa com aplicação de gesso mineral

| Nitrogênio | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|--------------------|
| Fontes de energia de biomassa | | Média | | |
| | | Ca (Kg ha ⁻¹) | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 53,95 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 35,03 | | |
| Capim elefante | | 54,41 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 2,992** | - 2,002* | - 3,422** | 1,787ns |
| Teste F (p>0,05) | 8,955** | 4,008* | 11,711** | 3,195ns |
| Fósforo | | | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 31,53 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 22,09 | | |
| Capim elefante | | 34,02 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 1,387ns | - 0,605ns | - 2,113* | 1,620ns |
| Teste F (p>0,05) | 1,923ns | 0,366ns | 4,466* | 2,623ns |
| Enxofre | | | | |
| Cana-de-açúcar de origem cubana | | 226,21 | | |
| Cana-de-açúcar variedade RB962962 | | 195,44 | | |
| Capim elefante | | 263,26 | | |
| Contrastes | | | | |
| | Cana vs Capim | Cubana vs Capim | RB962962 vs Capim | Cubana vs RB962962 |
| Teste t (p>0,05) | - 1,821ns | - 1,302ns | - 1,945ns | 0,883ns |
| Teste F (p>0,05) | 3,315ns | 1,694 | 3,785ns | 0,779ns |

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}Não significativo.

Avaliando o conteúdo de nutrientes na parte aérea individualmente por gramínea, o N foi o nutriente mais exigido (Figuras 2), diferenciando o que ocorreu neste trabalho de outras pesquisas com cana-de-açúcar e capim elefante, onde o K foi o nutriente mais extraído (SANTOS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016) . De acordo com Oliveira et al. (2016), quando o acúmulo de N é superior ao de K é provavelmente devido a mineralização da matéria orgânica que é uma importante fonte de N, além de estudos já realizados demonstrando a importância da fixação biológica de N, como uma importante fonte do nutriente.

As variedades de capim elefante tiveram um incremento no conteúdo de N com a aplicação de gesso (Figura 2). No grupo com aplicação de gesso apenas a variedade Cameroon extraiu mais esse nutriente. No grupo sem gesso apenas a variedade Venezuela extraiu menos N. É notório o comportamento destas variedades de capim elefante, na presença e ausência de gesso.

O P foi o nutriente menos extraído pelas gramíneas (Figura 2). Albuquerque (2013) e Santos et al. (2012), encontram menores extrações de P em relação a outros nutrientes pela cana-de-açúcar e capim elefante. O uso do gesso promoveu maior acúmulo de P na parte aérea das variedades de capim elefante.

Com exceção da variedade de cana-de-açúcar RB962962 as gramíneas extraíram mais S quando o gesso foi aplicado, reforçando a ideia da importância da aplicação do gesso disponibilizando S para as plantas.

O conteúdo de K, Ca e Mg na parte aérea foi influenciado pelo uso do gesso, independente do tipo de gramínea cultivada (Figura 2). Santos et al. (2012) e Albuquerque (2013) não encontraram diferença no conteúdo desses nutrientes com aplicação de gesso em variedade de capim Cameroon e na variedade de cana-de-açúcar RB962962. Estes trabalhos tiveram problemas com a aplicação de gesso pela lixiviação excessiva desse insumo causada por elevadas precipitações na época da implantação dos ensaios, transportando o gesso para camadas mais profundas do solo, comprometendo a avaliação de seu efeito na nutrição das gramíneas avaliadas.

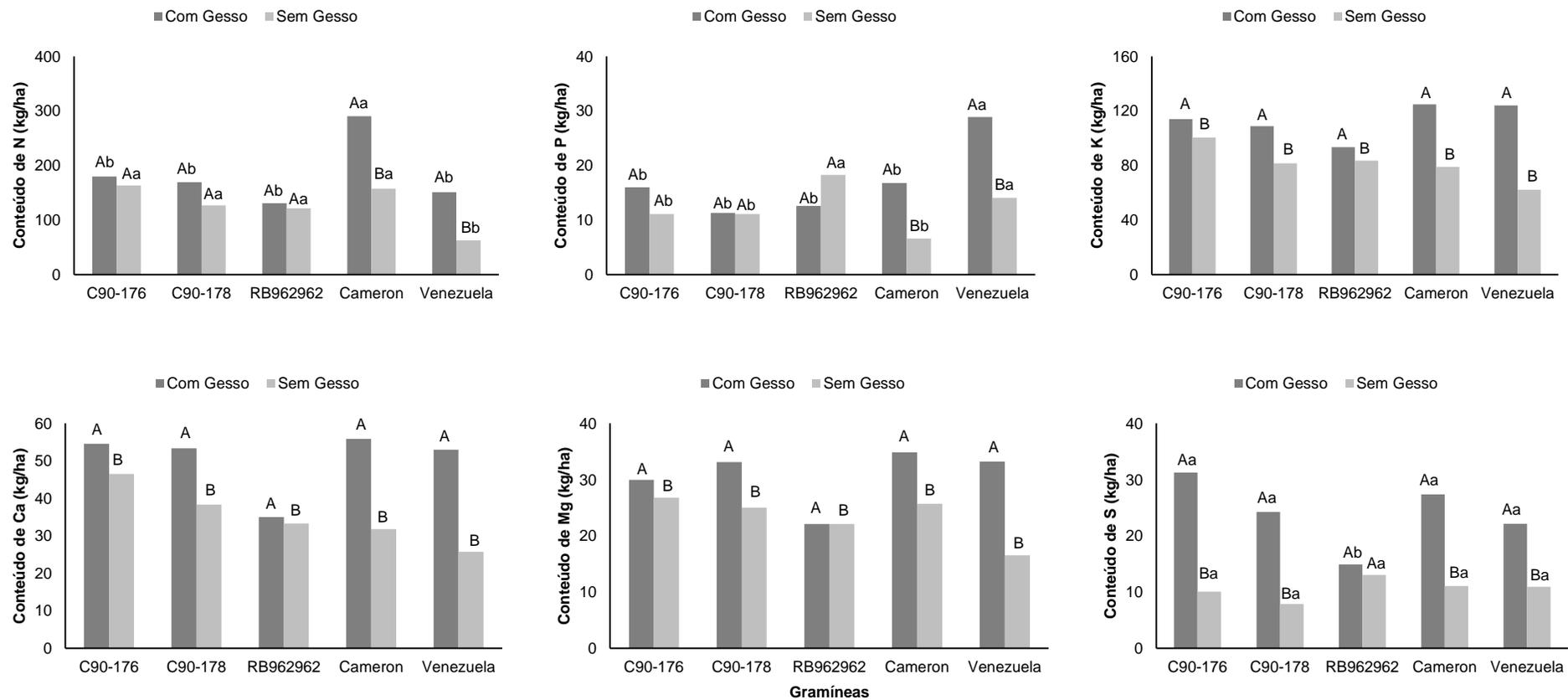


Figura 2. Conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) com e sem aplicação de gesso mineral aos 320 dias após o plantio (DAP).

Letras maiúsculas iguais nas colunas separadamente por gramínea não diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

O comportamento da eficiência de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg das gramíneas foi independente da aplicação de gesso (Figura 3). Isso só ocorre quando há uma correlação direta e positiva da extração ou acúmulo com a produção de matéria seca, ou seja, quanto a extração foi maior também maior foi a produção de matéria seca ou o inverso. Se o gesso proporcionou aumento da extração, também elevou proporcionalmente a produção de matéria seca em todas as gramíneas. Nenhuma delas extraiu mais e produziu menos ou o contrário, nenhuma delas extraiu menos e produziu mais. A diferença na eficiência de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg que existiu entre elas com gesso, foi a mesma sem aplicação de gesso. A maior ou menor eficiência foi inerente ao genótipo.

Albuquerque (2013) não encontrou diferença na eficiência de utilização de N, P, Ca e Mg em cana-de-açúcar com o uso do gesso, dentre elas a RB962962. Santos et al. (2012) também não encontraram diferença na eficiência de utilização biológica de K, P, Mg e S no capim Cameroon.

Dentre as gramíneas, o capim elefante Venezuela foi mais eficiente na utilização de N (Figura 3). Flores (2009) encontrou eficiência de N de 83,62 e 79,01 kg/kg para capim Paraíso e Roxo, respectivamente. A maior eficiência dessa gramínea ocorreu provavelmente pela capacidade dela de extrair menos N (Tabela 4) e produzir matéria seca na mesma ordem de grandeza das outras gramíneas.

As variedades de cana-de-açúcar C90-176 e C90-178 foram mais eficientes na utilização de P (Figura 3). Nessas variedades também foram observadas menores extrações de P (Tabela 2).

Para Ca, Mg e K as gramíneas tiveram a mesma eficiência (Figura 3). Os capins extraíram significativamente mais Ca e Mg do que as variedades de cana-de-açúcar (Tabela 2), no entanto, não foram menos eficientes do que elas, provavelmente porque produziram matéria seca proporcionalmente ao que extraíram destes nutrientes.

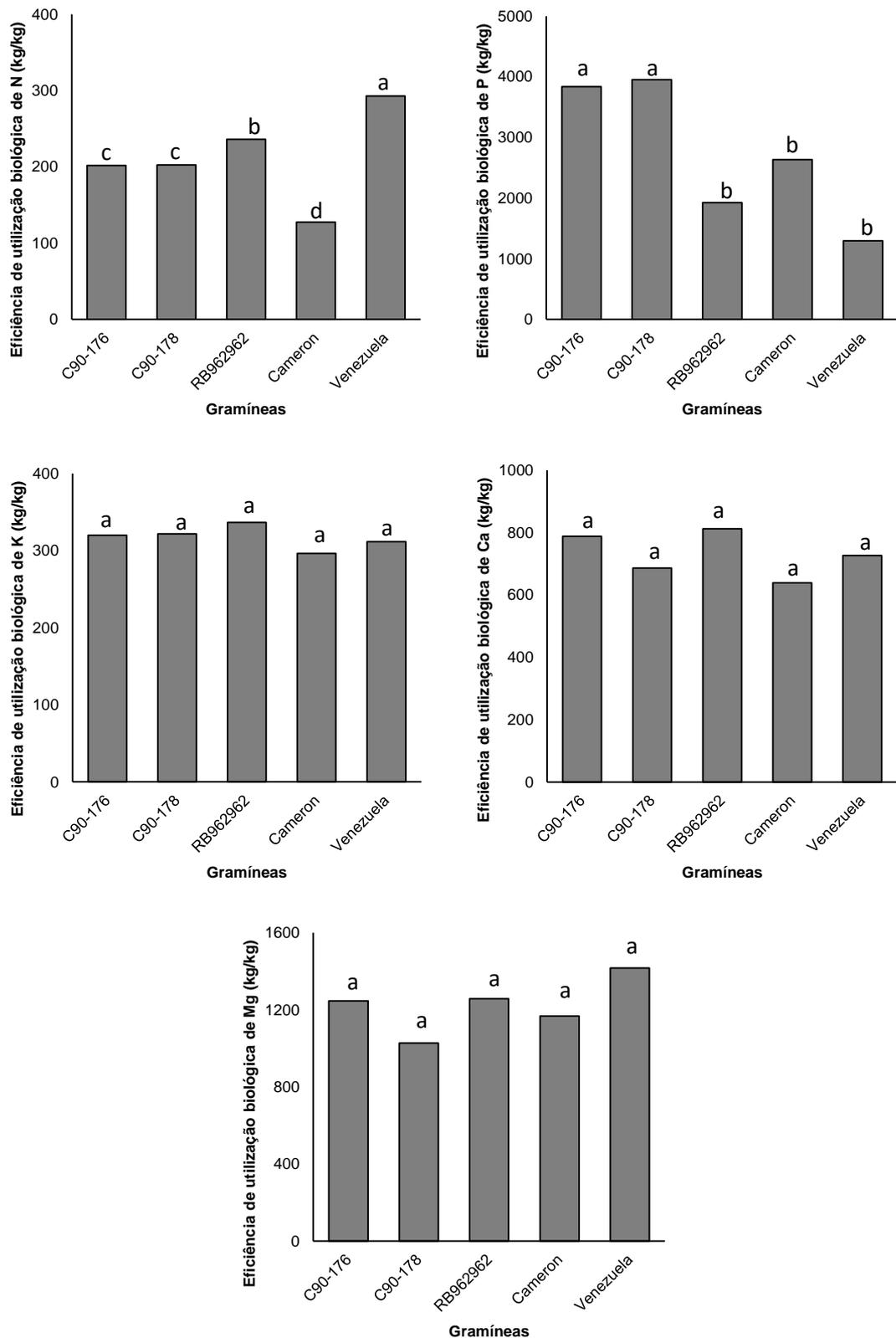


Figura 3. Eficiência de utilização biológica de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) independente da aplicação de gesso mineral.

Letras minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

Somente para o S, a presença ou ausência de gesso influenciou a eficiência de utilização das gramíneas (Figura 4). Quando o gesso foi aplicado ocorreu uma diminuição na eficiência de utilização biológica nas variedades de cana-de-açúcar C90-176 e C90-178 e na variedade de capim elefante Cameroon. Essas variedades extraíram mais S quando foi aplicado gesso (Figura 2) e certamente não foram capazes de converter essa exigência nutricional em matéria seca.

Estudos de eficiência nutricional como este permitem inferir que no Araripe em áreas em que a necessidade de gesso seja dispensável, como por exemplo, solos menos ácidos em subsuperfície, pode-se recomendar o plantio das variedades de cana-de-açúcar de origem cubana e capim elefante Cameroon e para locais em que o uso do gesso é indispensável, recomenda-se o plantio do capim elefante Venezuela e da variedade de cana-de-açúcar RB962962.

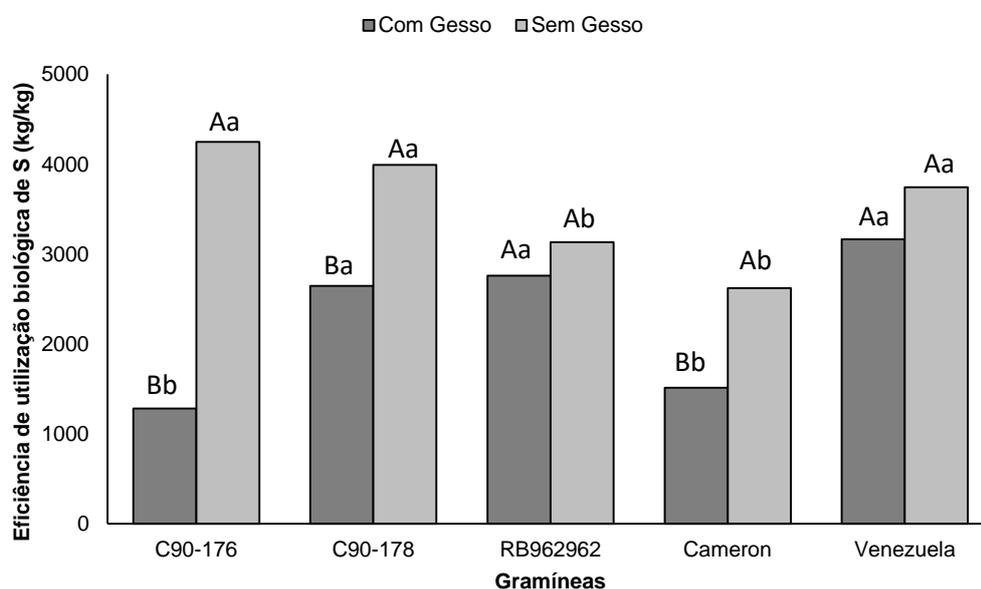


Figura 4. Eficiência de utilização biológica de enxofre de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) com e sem aplicação de gesso mineral.

Letras minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

CONCLUSÕES

O estado nutricional das gramíneas reduziu significativamente com a diminuição do regime hídrico, principalmente a nutrição nitrogenada.

De maneira geral o uso do gesso promoveu um maior acúmulo de nutrientes pelas gramíneas.

A eficiência de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg das gramíneas não sofreu influência da aplicação de gesso.

As variedades de cana-de-açúcar cubanas C90-176 e C90-178 e a variedade de capim elefante Cameroon apresentaram menor eficiência de utilização biológica de S quando o gesso foi aplicado.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, H. S. **Desempenho agroenergético, uso da água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Chapada do Araripe**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada – PE. 2013.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. **In:** RIBEIRO, A. C. et al. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação*. Viçosa, UFV, p. 43-60, 1999.

ALVAREZ V., V. H. et al. Uso de gesso agrícola. **In:** RIBEIRO, A. C. et al. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação*. Viçosa, UFV, p. 67-78, 1999.

ALVAREZ, V. H. et al. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. 1.ed., Viçosa: UFV, 131p., 2001.

BASSO, C. J. et al. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 456-463, out./dez., 2015.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.125-136, 2004.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p., 1994.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. Cadastro de fontes de **abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 26p., 2005.

CUSTÓDIO, D. P. et al. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 1, p. 27-34, jan./mar., 2005.

DANIELS, J; ROACH, B. T. **Taxonomy and evolution in sugarcane. Sugarcane improvement through breeding**. Heinz DJ, ed. (1987) Amsterdam: Elsevier Press. 7-84.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Embrapa Informação Tecnológica, 627 p., 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p., 2011.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.

FLORES, R. A. **Produção de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para Fins Energéticos no Cerrado: Resposta a Adubação Nitrogenada e Idade de Corte.** 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2009.

LAL, K. N. Elemental composition of sugar-cane leaf and stem in relation to nitrogen deficiency. **Nature**, v. 167, p. 731-732, 1951.

LEITE, R. M. B.; FILHO, J. L. Q.; SILVA, D. S. Produção e valor nutritivo do capim-elefante cultivar Cameroon em diferentes idades. **Agropecuária técnica**, vol. 21, n.1/2, 2000.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cana-de-açúcar.** 2006. 46 f. Dissertação (Mestrado), - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2006.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção.** 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE. 2008.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada.** 2011. 215 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP. 2011.

OLIVEIRA, R. I. et al. Nutrient partitioning and nutritional requirement in sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 69-75, 2016.

PINTO, A. P.; PEREIRA, E. S.; MIZUBUTI, I. Y. Características nutricionais e formas de utilização da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 73-84, jan./jun., 2003.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum.) com potencial 52 para uso energético, na forma de carvão vegetal.** 2005. 65 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2005.

RAIJ, B. V. et al. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-118, 1998.

RECOMENDAÇÕES de adubação para o Estado de Pernambuco. 2.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 198p., 2008.

RODRIGUES, L. R. A., MONTEIRO, F. A., RODRIGUES, T. J. D. Capim elefante. In: PEIXOTO, A.M., PEDREIRA, C.G.S., MOURA, J.V., FARIA, V.P. (Eds.) Simpósio sobre manejo da pastagem, 17, Piracicaba, 2001. 2ª edição. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001, p. 203-224.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SANTOS, R. L. et al. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. **Australian Journal of Crop Science** (Online), v. 9, p. 1082-1088, 2015.

SANTOS, R. L. et al. Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 497-505, 2012.

SILVA, F. C., ed. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica/Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2009. 627p.

SIMÕES NETO, D. E. et al. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 73-81, janeiro de 2015.

SOBRINHO, F. S. et al. Avaliação agronômica de híbridos interespecíficos entre capim-elefante e milheto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 9, p. 873-880, 2005.

THIAGO, R. D. R. T. **Avaliação nutricional da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP. 2009.

Capítulo III

Indicadores energéticos de gramíneas produtoras de energia de biomassa
cultivadas no Araripe em Pernambuco

RESUMO

A busca do conhecimento de indicadores energéticos para gramíneas com potencial para produção de energia de biomassa é muito pertinente e de elevada importância para a cadeia produtiva do Polo Gesseiro do Araripe. No entanto, mesmo que se encontre bons indicadores nessas gramíneas, é necessário que elas maximizem seu potencial de produção de matéria seca. Contudo, uma forma de potencializar essa produção é utilizando gesso no cultivo dessas gramíneas, pelos seus efeitos promotores na melhoria do ambiente radicular, elevando a eficiência de uso de água e nutrientes dessas plantas. Como a região do Araripe é grande produtora de gesso mineral, que pode ser utilizado para fins agrícolas, essa relação produção de matéria seca e uso de gesso no cultivo destas gramíneas é viável e sem dúvida, extremamente pertinente. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores energéticos em cana-de-açúcar e capim elefante na presença e ausência de gesso mineral na Chapada do Araripe em Pernambuco. O trabalho foi realizado em campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na Chapada do Araripe, no município de Araripina. O experimento foi composto por três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; uma melhorada pelo Programa de Melhoramento Genético da RIDESA (RB 962962), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela) na presença e ausência de gesso mineral. A determinação dos indicadores energéticos nas gramíneas foi realizada em quatro diferentes períodos de crescimento das plantas, nos compartimentos folha e colmo. Houve pouca variação nos indicadores energéticos no colmo e na folha das diferentes gramíneas nos períodos avaliados. O incremento dos teores de lignina no colmo do capim elefante Cameron sugere que o corte dessa gramínea para uso energético não deve ocorrer antes dos 200 após o plantio. A aplicação de gesso aumentou a produção de matéria seca com incrementos de até 9 Mg ha⁻¹ na variedade de capim elefante Venezuela.

Palavras-chaves: Biomassa, energia, cana-de-açúcar, capim elefante, gesso

ABSTRACT

The search of knowledge about energy indicators for grasses with potential for producing biomass energy is very relevant and of high importance to the productive chain of The Gypsum Pole of Araripe. However, it is known a good indicator these gramineae, it is necessary for them to maximize their dry matter production potential. However, a way to improve the production is to use mineral plaster to increase the growth of these gramineae by its promoters effect on improvement of the root environment, increasing the efficiency of use of water and nutrients these plants. As the Araripe region is a major producer of mineral plaster, which can be used for agricultural purposes, this relationship dry matter production and use of plaster in the cultivation of these gramineae is feasible and certainly extremely relevant. The objective of this study was to evaluate energy indicators in sugarcane and elephant grass in the presence and absence of mineral plaster in the Araripe in Pernambuco. The work was conducted in the field at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in the Araripe, municipality of Araripina. The experiment consisted of three varieties of sugarcane: two Cuban origin (C90-176 and C90-178), called energy cane; one improved by the Genetic Improvement Program RIDESA (RB 962962), and two varieties of elephant grass (Cameroon and Venezuela) in the presence and absence of mineral plaster. The determination of energy indicators in gramineae was conducted in four different periods of growth of plants, leaf and stalk compartments. There was little variation in energy indicators in the stalk and leaf of different gramineae in evaluation periods. The increase in lignin content in elephant grass stalk Cameron suggests that cutting this grass for energy use must not take place before 200 after planting. The application of plaster increased the dry matter production in increments of up to 9 Mg ha⁻¹ for the variety of elephant grass Venezuela.

Keywords: Biomass, energy, sugarcane, elephant grass, plaster

INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas, pesquisas têm sido intensificadas em relação ao uso de biomassa para aplicações em processos de aproveitamento energético e na indústria química, visando à diminuição dos efeitos causados pelo uso de combustíveis fósseis.

Todo material orgânico, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado na produção de energia é denominado de biomassa. É considerada uma forma indireta da energia solar, por converter energia solar em química por meio da fotossíntese. Isto significa que quanto maior for o crescimento da massa vegetal num período curto de tempo, mais eficiente será o aproveitamento da energia solar pela planta (MORAIS, 2008). As gramíneas cana-de-açúcar e capim elefante estão entre os vegetais de alta eficiência fotossintética e com grande capacidade de acumulação de matéria seca, além de características qualitativas para a produção de energia e com percentual elevado de fibra (JORGE et al., 2005; QUESADA, 2005).

O uso dessas gramíneas pode ser uma alternativa viável para os problemas da matriz energética da região do Pólo Gesseiro do Araripe, ocasionados pela exploração de minerais, principalmente gipsita. O uso excessivo da madeira da Caatinga tem causado grande pressão sobre os recursos florestais da região, causando sérios problemas ambientais. Porém o uso destas gramíneas carece de pesquisas científicas e tecnológicas capazes de apresentar resultados de forte impacto num ambiente que vem sendo devastado, porém de larga envergadura na economia de Pernambuco e do Nordeste.

É preciso estudar indicadores energéticos dessas gramíneas que possam sustentar seu uso de forma mais sustentável e permanente. Em Pernambuco o uso de cana-de-açúcar para produção de açúcar e álcool é uma atividade econômica consolidada e tradicional. Por ser uma gramínea grande produtora de matéria seca e de ciclo relativamente curto pode se tornar uma das culturas cultivadas no Araripe para fins energéticos. No entanto, as variedades existentes no Brasil e, particularmente adaptadas para serem cultivadas em Pernambuco, foram melhoradas para produzir açúcar. É relevante, no entanto, encontrar nessas variedades características que

favoreçam seu uso para produção de energia. Pouco se fez no Araripe que permita recomendações consistentes de variedades que possam ser utilizadas nessa região. Albuquerque (2013) cultivou cana-de-açúcar na Chapada do Araripe e apresentou alguns indicadores energéticos que podem nortear trabalhos futuros.

Os capins elefante, também grandes produtores de matéria seca e de ciclo de cultivo mais curto do que a cana-de-açúcar, podem também ser cultivados no Araripe e utilizados para fins energéticos. Santos et al. (2015) apresentou resultados de indicadores energéticos dos capins elefante Cameron, Gramafante e Roxo que foram cultivados na Chapada do Araripe e, também, como trabalho pioneiro, pode nortear o uso desta gramínea em trabalhos futuros que objetivem utilizá-las como fonte de energia de biomassa.

Adicionalmente, a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) importou e adaptou na Estação Experimental de Itambé, variedades de cana-de-açúcar de origem cubana, melhoradas para produção de biomassa energética e podem ser muito promissoras na região do Araripe.

A pesquisa para conhecer quais os indicadores energéticos dessas gramíneas é muito pertinente e de elevada importância para a cadeia produtiva do Polo Gesseiro do Araripe. No entanto, mesmo que se encontre bons indicadores nessas gramíneas, é necessário que elas maximizem seu potencial de produção de matéria seca. Numa região em que o regime hídrico é limitante, isso passa a ser outro forte desafio da pesquisa pernambucana. Contudo, uma forma de potencializar essa produção de matéria seca é utilizando gesso no cultivo destas gramíneas, pelos seus efeitos promotores na melhoria do ambiente radicular e, conseqüentemente, elevando a eficiência de uso de água e nutrientes destas plantas. Como a região do Araripe é grande produtora de gesso mineral, que pode ser utilizado para fins agrícolas, essa relação produção de matéria seca e uso de gesso no cultivo dessas gramíneas é viável e sem dúvida, extremamente pertinente.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores energéticos em cana-de-açúcar e capim elefante na presença e ausência de gesso mineral na Chapada do Araripe em Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na Chapada do Araripe, no município de Araripina. A Estação Experimental está localizada a 690 km do Recife, tem coordenadas geográficas de 07°27'37" S e 40°24'36" W e uma altitude de 831 m. A vegetação da região é composta basicamente por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005). O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, que se inicia, geralmente, em novembro e termina em abril. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 752 mm com temperatura do ar média de 24 °C.

O experimento foi conduzido de fevereiro de 2014 a janeiro de 2015. Durante esse período foram coletados dados da precipitação pluvial local e registrado um acumulado de 436 mm, temperatura do ar média de 27 °C (Figura 1).

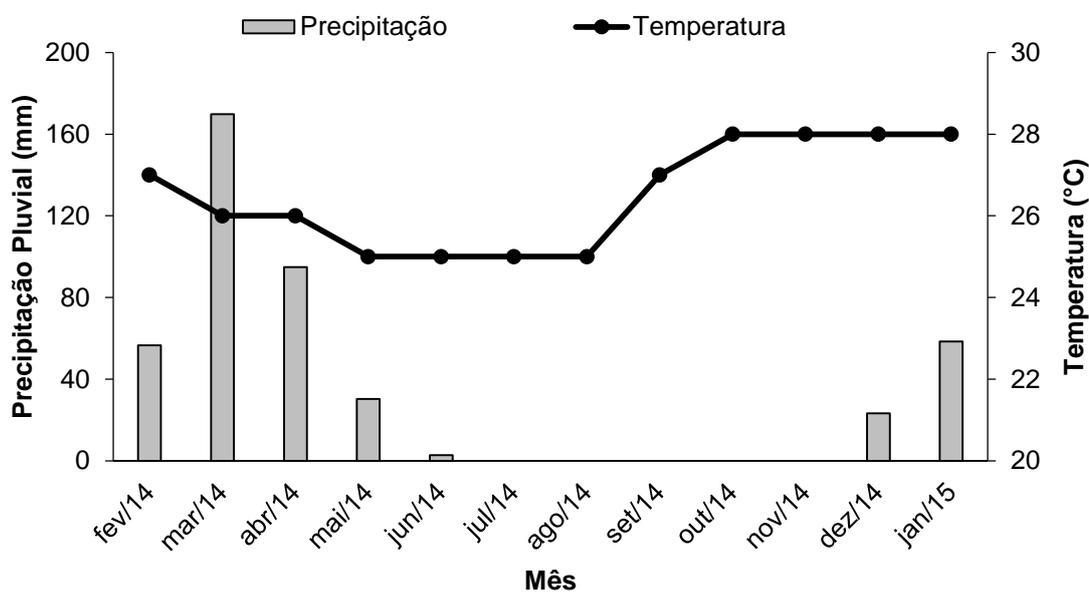


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) durante o período do ensaio de campo em Araripina.

Cavalcanti & Lopes (1994) classificaram o solo da Chapada do Araripe como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Para caracterizar o solo do local

do experimento, química e fisicamente, foi realizada uma amostragem aleatória e coletadas 15 amostras simples para formação de uma composta nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m (Tabela 1).

Quimicamente o solo foi caracterizado pelo pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), P e Carbono Orgânico Total (COT). O Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com cloreto de K 1,0 mol L⁻¹; O P, K⁺ e Na⁺ com Mehlich-1; O H+Al com acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ e SO₄²⁻ com fosfato de Ca em água. O Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e (H+Al) foram determinados por titulometria; K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama; P por colorimetria, COT por combustão úmida com dicromato de K e o sulfato por turbidimetria. Todas as análises foram realizadas de acordo com os procedimentos sugeridos pela Embrapa (2011), com exceção do SO₄²⁻, que foi realizada de acordo com Alvarez et al. (2001). Com os dados obtidos foi ainda calculada a capacidade de troca de cátions efetiva, a saturação por Al e a saturação por bases.

Fisicamente o solo foi caracterizado quanto a sua granulometria, que foi determinada pelo método da pipeta segundo procedimentos recomendados por Ruiz (2005). A granulometria foi utilizada para definição da classe textural do solo. Foram também realizadas análises de densidade do solo pelo método da proveta, densidade de partículas pelo método do balão volumétrico e porosidade total (EMBRAPA, 2011).

O experimento foi composto por três variedades de cana-de-açúcar: duas de origem cubana (C90-176 e C90-178), denominadas canas energéticas; e uma variedade (RB962962) produzida e desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), além de duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela).

As variedades de origem cubana foram escolhidas pelos seus elevados teores de fibra e são utilizadas em Cuba como fonte de biomassa energética. A variedade RB962962, apesar de ter sido desenvolvida para produção de açúcar, foi escolhida por sua elevada produção de matéria seca e pelo seu desempenho agroenergético constatado no trabalho de Albuquerque (2013). O capim elefante Cameroon foi escolhido por ter sido utilizado na Chapada do Araripe e apresentado bom desempenho energético (Santos et al., 2015) e o Venezuela foi recomendado pelo IPA para que se pudesse avaliar sua característica energética.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo nas profundidades 0,0 - 0,2; 0,2 - 0,4 e 0,4 - 0,6 m, na área do ensaio de campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco em Araripina

| Atributo | Profundidade (m) | | |
|--|------------------|---------------|---------------|
| | 0,0 - 0,2 | 0,2 - 0,4 | 0,4 - 0,6 |
| pH água (1:2,5) | 5,50 | 4,40 | 4,62 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 1,80 | 0,40 | 0,35 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,90 | 0,20 | 0,45 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,18 | 0,07 | 0,06 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| P (mg dm ⁻³) | 6,00 | 2,00 | 0,80 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,20 | 0,50 | 0,60 |
| (H + Al) (cmol _c dm ⁻³) | 2,40 | 2,50 | 2,80 |
| COT (g kg ⁻¹) ¹ | 1,79 | 0,75 | 0,45 |
| CTC potencial (cmol _c dm ⁻³) ² | 5,30 | 3,20 | 1,46 |
| CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³) ³ | 3,10 | 1,20 | 1,50 |
| m (%) ⁴ | 6,45 | 41,83 | 40,00 |
| V (%) ⁵ | 54,73 | 21,76 | 24,32 |
| S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³) | 1,30 | 0,45 | 0,46 |
| Areia Grossa (g kg ⁻¹) | 441,13 | 527,60 | 524,51 |
| Areia Fina (g kg ⁻¹) | 177,71 | 176,20 | 187,60 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 32,88 | 36,28 | 33,17 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 348,86 | 259,92 | 254,72 |
| Classe Textural | Franco Argilo | Franco Argilo | Franco Argilo |
| | Arenoso | Arenoso | Arenoso |
| Dp (kg dm ⁻³) ⁶ | 2,65 | 2,74 | 2,84 |
| Ds (kg dm ⁻³) ⁷ | 1,41 | 1,46 | 1,46 |
| PT (%) ⁸ | 46,79 | 46,59 | 48,59 |

¹ Carbono orgânico total; ² Capacidade de troca de cátions potencial; ³ Capacidade de troca de cátions efetiva; ⁴ Saturação por alumínio; ⁵ Saturação por bases; ⁶ Densidade da partícula; ⁷ Densidade do solo; ⁸ Porosidade total;

As gramíneas foram submetidas a duas doses de gesso mineral, 0 e 0,6 Mg ha⁻¹. A dose de gesso foi calculada de acordo com o resultado da necessidade de calagem (NC) da camada 0,2-0,6 m de profundidade (Tabela

1), utilizando-se o método da saturação por bases (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), estimando-se 60% como saturação por bases final.

De acordo com Alvarez et al. (1999), a dose de gesso deve corresponder a 25% da NC da camada de solo em subsuperfície que se pretende corrigir. No caso deste trabalho, a camada para correção considerada foi a de 0,2-0,6 m de profundidade. Como as camadas estavam divididas em extratos de 0,2 m, se calculou a soma da NC das camadas 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m e aplicou-se 25%, o que correspondeu a uma dose de gesso de $0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$.

O ensaio foi disposto em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial (5×2), com quatro repetições. Cada parcela foi composta por cinco sulcos de 10 m de comprimento, espaçados de 1 m, perfazendo uma área total de 50 m^2 . A área útil foi formada pelas três linhas centrais, descartando-se 1 m das extremidades, o que totalizou 24 m^2 .

A instalação do experimento foi iniciada com a distribuição a lanço de $0,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico com PRNT de 93%, 45 dias antes do plantio. O calcário foi incorporado com grade de disco até 0,2 m de profundidade. A necessidade de calagem foi calculada pelo método da saturação por bases (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999), estimando-se 60% como saturação por bases final.

Os adubos aplicados antes das operações de plantio e após a abertura dos sulcos corresponderam a 45 kg ha^{-1} de uréia (44% de N), 440 kg ha^{-1} de superfosfato triplo (41% de P_2O_5) e 40 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (58% de K_2O). Aos 70 dias após o plantio (DAP) aplicou-se em cobertura mais 90 kg ha^{-1} de ureia e 80 kg ha^{-1} de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada e potássica foi dividida em 1/3 no plantio no fundo sulco e 2/3 em cobertura na linha de plantio, porque o solo tinha elevados teores de areia (Tabela 1).

As adubações com N e K foram realizadas de acordo com o Manual de Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO, 2008) e a adubação com P de acordo com Simões Neto et al. (2015).

O plantio das gramíneas foi realizado em sulcos abertos com 0,2 m de profundidade, onde foram distribuídos os propágulos vegetativos: 14 t ha^{-1} de colmos de cana-de-açúcar e 4 t ha^{-1} de colmos de capim elefante, sendo dispostos nos sulcos como corrente dupla, de modo que a ponta de uma coincida com a base da outra. Posteriormente, os colmos de ambas as

espécies vegetais foram rebolados em toletes com 4 a 5 gemas, e em seguida os sulcos foram fechados.

A determinação dos indicadores energéticos nas diferentes variedades de cana-de-açúcar e dos capins elefante foi realizada em quatro avaliações ao longo do cultivo das gramíneas: aos três meses, seis meses, nove meses e meio e dez meses e meio de crescimento das plantas.

Foram coletadas 10 plantas na parcela útil do ensaio, separadas em folhas e colmos e em seguida pesadas e trituradas em forrageira. Uma subamostra foi retirada, pesada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C para obtenção de massa seca e umidade. Com a contagem dos perfilhos por metro linear foi estimada a produção de matéria seca das gramíneas da parcela útil, corrigindo falhas da brotação do material utilizado no plantio. Com a área da parcela útil, calculou-se a produção por hectare.

Após secagem, as amostras de biomassa foram trituradas em moinho de facas com peneira de malha de 1 mm de diâmetro, a fim de se proceder a determinação dos teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, de acordo com Van Soest & Wine (1968). O poder calorífico superior (PCS) foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal da UFRPE, seguindo as normas NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando um calorímetro da marca IKA, modelo C 200. As avaliações desses indicadores energéticos foram realizadas em folhas e colmos das gramíneas.

Os dados das variáveis dependentes foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Quando os efeitos principais e/ou interação apresentaram significância estatística foi aplicado nos dados o teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Para os teores de FDN, FDA, lignina e PCS foram aplicados contrastes ortogonais e realizados os testes t e F ao nível de 5% de probabilidade, na presença e ausência de gesso mineral aos seis meses de crescimento das plantas, com o objetivo de contrastar os efeitos das diferentes gramíneas por grupo e suas interações com a aplicação de gesso mineral.

Foram realizadas regressões do teor de lignina em folha e colmo no capim elefante Cameroon cultivado com e sem aplicação de gesso em função do crescimento das plantas, com o objetivo de determinar o melhor momento de corte das gramíneas. Também foram realizadas regressões da produção de

matéria seca das gramíneas em função do tempo de cultivo no compartimento folha e dos capins elefante Cameron e Venezuela no compartimento colmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações no compartimento folha e colmo ao longo do tempo de cultivo das gramíneas para os teores de FDN, FDA, Lignina e o poder calorífico superior (PCS) tiveram como objetivo saber qual seria o período ideal de corte das gramíneas, baseado nos caracteres energéticos. No entanto ao analisar os dados para cada indicador energético das gramíneas em função do tempo, constatou-se que houve pouca variação nesses indicadores (Tabelas 2 e 3), demonstrando que o período ideal de corte é quando a produção de matéria seca for suficiente para maximizar o uso energético das plantas.

Avaliando o uso do gesso nos teores de FDN, FDA e lignina nas diferentes gramíneas nos períodos avaliados, pode-se observar pouca influência desse corretivo nos compartimentos folha e colmo (Tabelas 2 e 3). Santos et al., (2015) e Albuquerque (2013) em pesquisa com capim elefante e cana-de-açúcar, respectivamente, como fonte de biomassa para produção de energia, não encontraram melhoras nesses indicadores energéticos e nessas gramíneas com a aplicação de gesso, indicando que as fibras vegetais pouco se alteram com os benefícios nutricionais proporcionados pelo gesso, como maiores teores de Ca e S, por exemplo.

Os teores de FDA e lignina nas gramíneas foram maiores no colmo em relação à folha independente do tempo de avaliação (Tabelas 2 e 3). Valores de FDA sempre maiores no colmo são encontrados na literatura para capim elefante (QUESADA et al., 2004; QUESADA, 2005).

De maneira geral, os teores de FDN, FDA e lignina no compartimento folha foram maiores nas variedades de cana-de-açúcar nos tempos avaliados (Tabela 2).

Os teores de FDN na folha no período da colheita das gramíneas variaram entre 65,64 e 72,55%. Flores (2009) encontrou teores semelhantes a estes na parte aérea de dois genótipos de capim elefante submetidos a diferentes doses de N. Freitas et al. (2004) em estudo com diferentes clones de capim elefante encontraram teor de FDN de 66,49% na folha do capim elefante Venezuela.

Tabela 2. Teor de Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Lignina e Poder Calorífico Superior (PCS) em folhas de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) e em função da aplicação de gesso mineral em diferentes tempos de crescimento das plantas

| Gramíneas | FDN | | | FDA | | | Lignina | | | PCS | | |
|--|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|
| | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média | C/Gesso | S/Gesso | Média |
| % | | | | | | | | | | | | |
| MJ kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| Três meses de crescimento das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 73,05 | 72,13 | 72,59a | 38,95 | 36,34 | 37,65a | 5,66 | 5,00 | 5,33a | 17,22 | 17,00 | 17,11 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 73,79 | 73,01 | 73,40a | 38,58 | 37,06 | 37,82a | 5,23 | 4,87 | 5,05a | 17,16 | 17,13 | 17,15 |
| RB962962 ⁽²⁾ | 74,40 | 72,38 | 73,39a | 36,88 | 36,62 | 36,75a | 5,79 | 5,31 | 5,55a | 17,81 | 16,98 | 17,39 |
| Cameroon ⁽³⁾ | 64,44 | 62,74 | 63,59b | 30,38 | 30,06 | 30,21b | 3,12 | 3,20 | 3,16b | 16,98 | 16,91 | 16,94 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 68,86 | 65,58 | 67,22b | 35,27 | 33,17 | 34,22b | 3,57 | 3,58 | 3,58b | 16,73 | 16,98 | 16,86 |
| Média | 70,91A | 69,17B | | 36,01B | 34,65A | | 4,68 | 4,39 | | 17,18 | 17,00 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 46,159*** | | | 34,535*** | | | 21,858*** | | | 1,274*** | |
| Gesso | | 8,890** | | | 7,826** | | | 1,872 _{ns} | | | 1,209*** | |
| Gram*Ges | | 0,594 _{ns} | | | 0,922 _{ns} | | | 0,457 _{ns} | | | 1,185*** | |
| C.V. (%) | | 2,63 | | | 4,36 | | | 14,49 | | | 3,04 | |
| seis meses de crescimento das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 73,50 | 72,55 | 73,02a | 36,58 | 35,81 | 36,20a | 7,19Aa | 7,13Aa | 7,16 | 16,54 | 16,55 | 16,55 |
| C90-178 | 74,40 | 73,44 | 73,92a | 36,51 | 36,42 | 36,47a | 4,87Ab | 4,08Bc | 4,48 | 16,56 | 16,54 | 16,55 |
| RB962962 | 69,59 | 68,76 | 69,17b | 35,84 | 34,88 | 35,36a | 5,18Bb | 6,60Aa | 5,89 | 16,44 | 16,43 | 16,43 |
| Cameroon | 64,78 | 65,67 | 65,22c | 27,39 | 27,79 | 27,59c | 4,05Bc | 5,39Ab | 4,72 | 16,43 | 16,38 | 16,40 |
| Venezuela | 63,32 | 64,63 | 63,97c | 28,61 | 30,10 | 29,36b | 4,24Bc | 3,27Ad | 3,76 | 16,28 | 16,12 | 16,20 |
| Média | 69,12 | 69,01 | | 32,99 | 33,00 | | 5,10 | 5,29 | | 16,45 | 16,40 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 60,032*** | | | 82,956*** | | | 60,374*** | | | 0,525 _{ns} | |
| Gesso | | 0,045 _{ns} | | | 0,001 _{ns} | | | 1,509 _{ns} | | | 0,073 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 0,928 _{ns} | | | 1,146 _{ns} | | | 10,980*** | | | 0,028 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 2,36 | | | 3,95 | | | 9,36 | | | 3,38 | |
| nove meses e meio de crescimento das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 73,66Aa | 73,89Aa | 73,77 | 38,02 | 37,65 | 37,84a | 4,63 | 4,64 | 4,63a | 17,82 | 17,55 | 17,69 |
| C90-178 | 74,48Aa | 74,16Aa | 74,32 | 38,55 | 37,74 | 38,14a | 4,72 | 4,61 | 4,66a | 17,65 | 17,62 | 17,64 |
| RB962962 | 73,76Aa | 74,59Aa | 74,18 | 37,49 | 36,89 | 37,19a | 4,67 | 4,82 | 4,74a | 17,35 | 17,38 | 17,37 |
| Cameroon | 66,62Bc | 68,64Ab | 67,63 | 30,01 | 28,53 | 29,27c | 3,46 | 3,09 | 3,27b | 17,14 | 17,00 | 17,07 |
| Venezuela | 67,95Ab | 64,57Bc | 66,26 | 34,21 | 32,42 | 33,32b | 4,81 | 3,08 | 3,94b | 18,19 | 16,95 | 17,57 |
| Média | 71,30 | 71,17 | | 35,66 | 34,65 | | 4,46 | 4,05 | | 17,63 | 17,30 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 180,031*** | | | 41,020*** | | | 6,619*** | | | 1,595 _{ns} | |
| Gesso | | 0,224 _{ns} | | | 3,585 _{ns} | | | 3,443 _{ns} | | | 3,372 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 11,766*** | | | 0,252 _{ns} | | | 2,378 _{ns} | | | 1,701 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 1,17 | | | 4,80 | | | 16,40 | | | 3,25 | |
| dez meses e meio de crescimentos das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 72,67 | 72,42 | 72,55a | 37,06Aa | 36,27Ba | 36,67 | 4,08 | 4,11 | 4,09a | 18,31 | 17,84 | 18,07 |
| C90-178 | 72,50 | 71,84 | 72,17a | 37,08Aa | 36,90Aa | 36,99 | 4,15 | 4,40 | 4,28a | 18,24 | 18,25 | 18,25 |
| RB962962 | 72,91 | 71,85 | 72,40a | 36,04Ab | 35,16Bb | 35,60 | 4,05 | 4,14 | 4,10a | 17,88 | 17,81 | 17,85 |
| Cameroon | 65,34 | 66,03 | 65,69b | 29,94Ad | 29,11Bd | 29,52 | 3,17 | 2,76 | 2,97c | 17,77 | 17,46 | 17,61 |
| Venezuela | 66,24 | 65,04 | 65,64b | 33,62Ac | 31,07Bc | 32,34 | 3,96 | 3,50 | 3,73b | 17,88 | 17,46 | 17,67 |
| Média | 69,93 | 69,44 | | 34,75 | 33,70 | | 3,88 | 3,78 | | 18,02 | 17,76 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 161,819*** | | | 336,597*** | | | 12,716*** | | | 2,514 _{ns} | |
| Gesso | | 3,666 _{ns} | | | 44,901*** | | | 0,579 _{ns} | | | 2,891 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 1,723 _{ns} | | | 6,441*** | | | 1,163 _{ns} | | | 0,387 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 1,17 | | | 1,44 | | | 10,84 | | | 2,66 | |

⁽¹⁾Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott (p>0,05). _{ns} Não Significativo; *, **, e *** Significativo a 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Houve interação estatística significativa entre o uso do gesso e os diferentes tipos de gramíneas para os teores de FDN aos nove meses e meio de crescimento, com o capim Cameroon tendo menor teor quando o gesso foi aplicado (Tabela 2).

O uso do gesso promoveu um aumento nos teores de FDA nas folhas das diferentes gramíneas na última avaliação, com exceção da variedade C90-178 que não diferiu estatisticamente do tratamento sem gesso (Tabela 2). As variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela tiveram os menores valores de FDA na presença e ausência de gesso com teores de 29,94 e 29,11% e 33,62 e 31,07%, respectivamente. Em estudo com diferentes variedades de capim elefante, dentre eles o capim Cameroon, Quesada (2005) encontrou teores de FDA para folha variando entre 30,3 e 39,1%. Moraes (2008) em estudo com cinco genótipos de capim elefante encontrou teores de FDA para o compartimento folha variando entre 39,09 e 41,64%.

Para lignina na folha, de maneira geral, os teores foram maiores nas variedades de cana-de-açúcar em relação às variedades de capim elefante nos períodos avaliados (Tabela 2). Os teores de lignina no capim elefante encontraram-se abaixo de 5%, valor esse abaixo dos encontrados na literatura em folhas de capim elefante (QUESADA, 2005; MORAIS, 2008). Os baixos índices pluviométricos da região durante o período experimental podem ter contribuído para essa redução no teor de lignina.

O PCS é um indicativo energético importante na recomendação de biomassa para a produção de energia e pouco se sabe sobre esse indicador energético na folha. No presente estudo, os valores de PCS não diferiram com o uso do gesso e nem com o tipo de gramínea nos períodos avaliados (Tabela 2). Na última avaliação os teores chegaram as 18,07 e 18,25 MJ kg⁻¹ para as variedades de cana-de-açúcar de origem cubana C90-176 e C90-178, valor esse próximo ao encontrado por Ripoli et al. (1991) em folhas verdes de cana-de-açúcar, que foi em, média, de 18,44 MJ kg⁻¹.

As variedades de cana-de-açúcar ainda não tinham colmo quando foi realizada a primeira avaliação, não podendo ser avaliados os teores de FDN, FDA, Lignina e o PCS.

O colmo corresponde ao compartimento mais importante para avaliação por constituir a maior parte da biomassa da parte aérea.

Aos três meses de crescimento das plantas o uso do gesso promoveu um aumento no teor de FDN no capim Venezuela (Tabela 3). Por outro lado, promoveu uma redução nos teores de FDN na variedade de cana-de-açúcar C90-178 e na variedade de capim elefante Cameroon, aos seis meses de crescimento das plantas (Tabela 3).

As gramíneas se diferenciaram estatisticamente quanto aos teores de FDN no colmo nas duas últimas avaliações, com menor teor correspondendo à variedade de cana-de-açúcar RB962962, que teve média de 57,67 e 56,76% (Tabela 3). Albuquerque (2013) encontrou na parte aérea dessa mesma variedade um valor de 70,38%, bem mais elevado que o encontrado neste trabalho. No entanto, Pinto et al, (2003) avaliando diferentes variedades de cana-de-açúcar encontraram na parte aérea em, média, 49,8% de FDN.

Os diferentes tipos de gramíneas se diferenciaram estatisticamente quanto aos teores de FDA com o uso do gesso nas três últimas avaliações (Tabela 3). Na última avaliação, a variedade de capim elefante Venezuela teve uma redução no teor de FDA quando o gesso foi aplicado, as demais variedades não se diferenciaram com o uso do gesso. Nas parcelas onde o gesso foi aplicado as variedades de capim Cameroon e Venezuela se sobressaíram em relação às variedades de cana-de-açúcar. Esse mesmo comportamento foi observado quando o gesso não foi aplicado. Os teores médios de FDA no capim Cameroon na presença e ausência de gesso foram de 47,51 e 47,02% e no capim Venezuela foi de 40,62 e 46,73%. Quesada (2005) e Morais (2008) encontraram em capim Cameroon, em média, 53,75 e 44,45% para teores de FDA no colmo.

A aplicação do gesso não diferenciou os teores de lignina nos períodos avaliados (Tabela 3). No entanto, o tipo de gramínea cultivado se diferenciou estatisticamente com a aplicação de gesso.

Os teores de lignina no colmo no final do ciclo de cultivo foram maiores nas variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela, que tiveram valores de 9,96 e 6,66%, respectivamente. De acordo com Quesada (2005), valores de lignina acima de 10% fornecem um bom índice da qualidade da biomassa para produção de energia, e a variedade de capim Cameroon se aproximou desse valor. Santos et al. (2015) em estudo com diferentes variedades de capim elefante na presença e ausência de gesso encontraram na parte aérea do capim Cameroon, em média, 5,16% de lignina.

Tabela 3. Teor de Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Lignina e Poder Calorífico Superior (PCS) em colmo de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) e em função da aplicação de gesso mineral em diferentes tempos de crescimento das plantas

| Gramíneas | FDN | | Média | FDA | | Média | Lignina | | Média | PCS | | Média |
|--|---------|---------------------|--------|---------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|
| | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | |
| % Três meses de crescimento das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| C90-178 ⁽¹⁾ | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| RB962962 ⁽²⁾ | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| Cameroon ⁽³⁾ | 77,32Aa | 77,55Aa | 77,44 | 50,31 | 50,67 | 50,49 | 8,17 | 7,35 | 7,76a | 16,32 | 16,64 | 16,48 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 79,55Aa | 76,40Ba | 77,98 | 49,50 | 49,48 | 49,49 | 6,79 | 6,81 | 6,80b | 16,35 | 16,18 | 16,26 |
| Média | 78,44 | 76,98 | | 49,90 | 50,07 | | 7,50 | 7,08 | | 16,34 | 16,41 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 0,533 _{ns} | | | 1,001 _{ns} | | | 8,568* | | | 0,658 _{ns} | |
| Gesso | | 3,889 _{ns} | | | 0,030 _{ns} | | | 1,500 _{ns} | | | 0,077 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 5,232* | | | 0,036 _{ns} | | | 1,633 _{ns} | | | 0,817 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 1,91 | | | 4,00 | | | 9,00 | | | 3,31 | |
| seis meses de crescimento das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 64,63Aa | 63,95Ab | 64,29 | 33,16Ab | 32,65Ac | 32,91 | 5,03 | 4,74 | 4,89b | 15,00 | 14,89 | 14,95 |
| C90-178 | 58,67Bb | 66,94Ab | 62,80 | 31,13Ac | 33,13Ac | 32,13 | 5,40 | 3,95 | 4,67b | 15,02 | 14,95 | 14,99 |
| RB962962 | 52,08Ac | 48,16Ac | 50,12 | 29,05Ac | 25,15Bd | 27,10 | 5,44 | 4,64 | 5,06b | 14,99 | 14,68 | 14,84 |
| Cameroon | 66,43Ba | 74,43Aa | 70,43 | 34,31Bb | 41,49Ab | 37,90 | 5,89 | 4,63 | 5,26b | 14,87 | 15,09 | 14,98 |
| Venezuela | 65,17Aa | 68,49Ab | 66,83 | 39,87Ba | 43,72Aa | 41,79 | 8,71 | 8,42 | 8,56a | 15,29 | 15,09 | 15,19 |
| Média | 61,40 | 64,40 | | 33,50 | 35,23 | | 6,10A | 5,28B | | 15,04 | 14,94 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 59,666*** | | | 123,947*** | | | 19,981*** | | | 0,168 _{ns} | |
| Gesso | | 11,293** | | | 14,444*** | | | 6,481* | | | 0,120 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 7,184*** | | | 17,237*** | | | 0,547 _{ns} | | | 0,101 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 4,48 | | | 4,18 | | | 18,03 | | | 5,87 | |
| nove meses e meio de crescimento das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 64,75 | 64,35 | 64,55c | 38,07Ac | 37,98Ab | 38,02 | 4,50 | 4,12 | 4,31c | 16,59 | 17,45 | 17,02 |
| C90-178 | 66,59 | 66,08 | 66,33c | 38,65Ac | 37,94Ab | 38,30 | 4,61 | 4,32 | 4,47c | 17,04 | 16,85 | 16,95 |
| RB962962 | 57,28 | 58,08 | 57,68d | 31,49Ad | 30,98Ac | 31,24 | 4,32 | 4,34 | 4,33c | 17,30 | 16,95 | 17,12 |
| Cameroon | 76,79 | 77,39 | 77,09a | 48,01Aa | 47,63Aa | 47,82 | 9,20 | 8,75 | 8,98a | 17,01 | 17,27 | 17,14 |
| Venezuela | 68,58 | 72,98 | 70,78b | 41,93Bb | 48,16Aa | 45,04 | 7,36 | 6,64 | 7,00b | 17,48 | 16,98 | 17,23 |
| Média | 66,80 | 67,77 | | 39,63 | 40,54 | | 6,00 | 5,64 | | 17,08 | 17,10 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 27,696*** | | | 54,194*** | | | 44,721*** | | | 0,246 _{ns} | |
| Gesso | | 0,637 _{ns} | | | 1,320 _{ns} | | | 1,660 _{ns} | | | 0,007 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 0,530 _{ns} | | | 2,833* | | | 0,178 _{ns} | | | 1,567 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 5,77 | | | 6,25 | | | 15,29 | | | 3,67 | |
| dez meses e meio de crescimentos das plantas | | | | | | | | | | | | |
| C90-176 | 65,53 | 65,88 | 65,71c | 36,76Ad | 36,49Ad | 36,62 | 4,21 | 4,07 | 4,14d | 17,01 | 17,75 | 17,38 |
| C90-178 | 65,24 | 64,92 | 65,08c | 39,09Ac | 38,89Ac | 38,99 | 3,68 | 3,87 | 3,77d | 17,40 | 17,39 | 17,39 |
| RB962962 | 56,78 | 56,74 | 56,76d | 30,74Ae | 30,35Ae | 30,54 | 4,76 | 4,72 | 4,74c | 17,83 | 17,41 | 17,62 |
| Cameroon | 77,05 | 77,49 | 77,27a | 47,51Aa | 48,02Aa | 47,77 | 10,01 | 9,91 | 9,96a | 17,42 | 17,91 | 17,66 |
| Venezuela | 67,70 | 70,48 | 69,09b | 40,62Bb | 46,73Ab | 43,68 | 6,89 | 6,43 | 6,66b | 17,83 | 17,50 | 17,66 |
| Média | 66,46 | 67,10 | | 38,94 | 40,09 | | 5,91 | 5,80 | | 17,50 | 17,59 | |
| F (análise da variância) | | | | | | | | | | | | |
| Gramíneas | | 385,492*** | | | 785,365*** | | | 188,314*** | | | 0,816 _{ns} | |
| Gesso | | 3,597 _{ns} | | | 29,732*** | | | 0,434 _{ns} | | | 0,421 _{ns} | |
| Gram*Ges | | 2,668 _{ns} | | | 35,106*** | | | 0,392 _{ns} | | | 2,501 _{ns} | |
| C.V. (%) | | 1,60 | | | 1,69 | | | 8,98 | | | 2,57 | |

⁽¹⁾Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott (p>0,05). _{ns} Não Significativo; *, **, e *** Significativo a 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Assim como no compartimento folha, no colmo não houve diferença no PCS com a aplicação de gesso nem com o cultivo de diferentes tipos de gramíneas (Tabela 3).

A média das gramíneas para PCS no final do ciclo foi de $17,54 \text{ MJ kg}^{-1}$ (Tabela 3), semelhante ao PCS em amostras de lenha de Caatinga nativa ($17,55 \text{ MJ kg}^{-1}$) coletada em indústria calcinadora na região do Araripe e relatada por Santos et al. (2015). Ripoli et al. (1991), em estudo com variedades de cana-de-açúcar encontraram valor de PCS para o colmo de $18,87 \text{ MJ kg}^{-1}$. Albuquerque (2013), em estudo com diferentes variedades de cana-de-açúcar como biomassa para produção de energia, encontrou valores médios de PCS variando entre $16,94$ e $17,89 \text{ MJ kg}^{-1}$. Flores (2009), avaliando o PCS da planta de capim elefante em função da concentração de N encontrou valor um valor médio de $17,18 \text{ MJ kg}^{-1}$. Gadelha et al. (2012) estudando o rendimento volumétrico e energético de clones de híbrido de *Eucalyptus* sp. encontraram valores médios de $15,86 \text{ MJ kg}^{-1}$.

As variedades de capim elefante se destacaram nos teores de FDN, FDA e lignina no colmo, principalmente na época de corte, podendo ser recomendadas como potencial fonte de energia de biomassa, aliada ao manejo adequado e planejado da Caatinga e florestas energéticas de eucalipto presentes na região do Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.

A aplicação de gesso mineral oscilou ora positiva ora negativamente na melhoria dos indicadores energéticos das gramíneas. É importante que ele não tenha provocado um efeito deletério nestes indicadores, porque sua aplicação tem muito mais o objetivo de promover incremento de matéria seca pelos benefícios diretos, como fornecedor de Ca e S às plantas, e indiretos pela melhoria do ambiente radicular das gramíneas, influenciando na nutrição e na eficiência do uso da água.

Foram realizados contrastes ortogonais aos seis meses de crescimento das plantas separando as gramíneas em grupos.

Tanto na presença como na ausência de gesso foi observado o mesmo comportamento das gramíneas quanto aos teores de FDA na folha (Figura 2). O grupo das variedades de capim elefante teve menores teores quando comparado ao grupo da cana-de-açúcar RB962962 e o grupo das cubanas. O grupo das variedades de cana-de-açúcar cubanas não diferiu da RB962962.

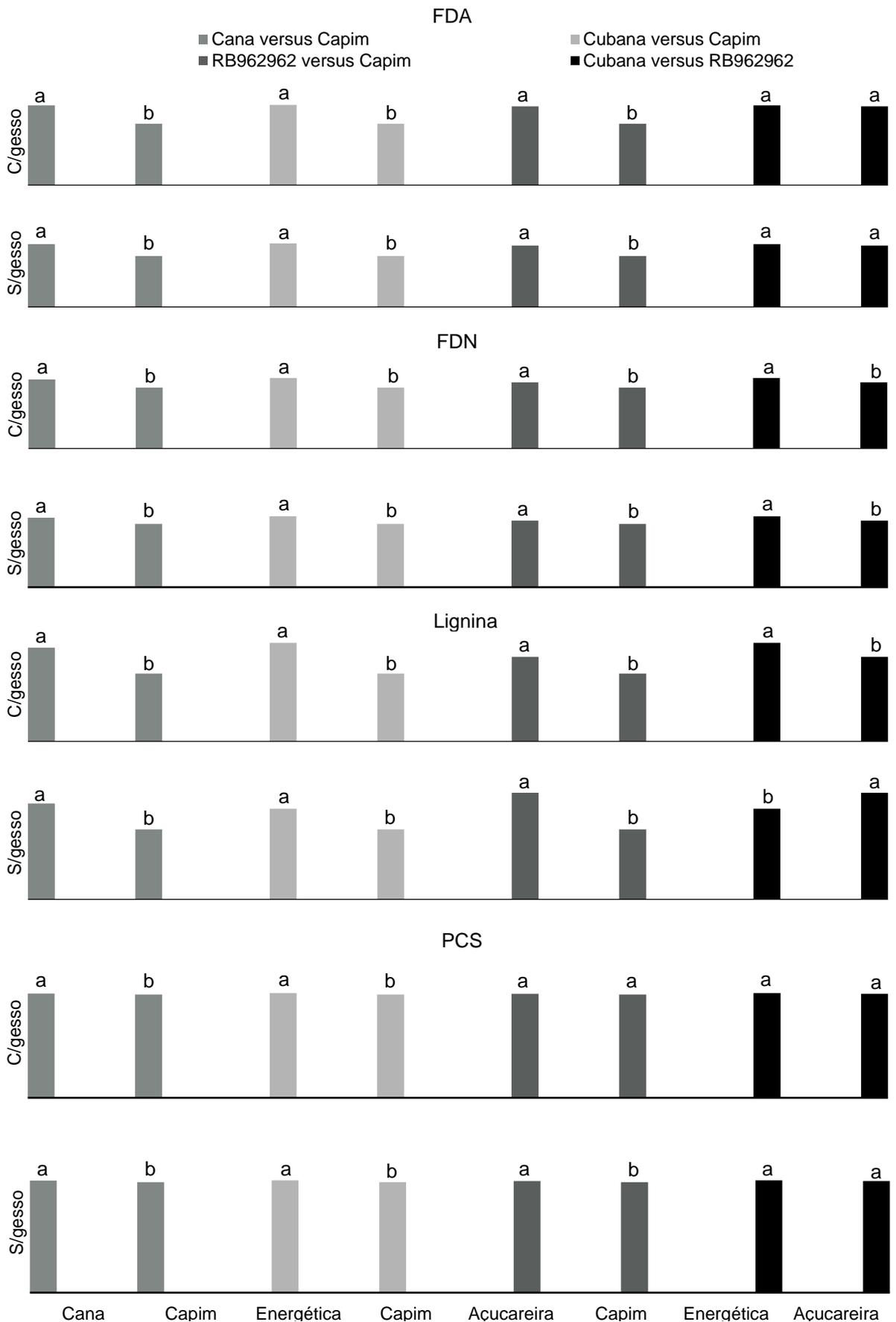


Figura 2. Contrastes ortogonais entre os grupos de gramíneas para o teor de FDA, FDN, Lignina e PCS no compartimento folha aos seis meses após o plantio. Letras iguais por contraste não difere pelo teste F ($p > 0,05$).

Para FDN na presença e ausência de gesso, o grupo das variedades de capim elefante também teve menores teores que o grupo das variedades de cana-de-açúcar, no entanto, quando comparado o grupo das variedades de cana-de-açúcar cubanas com a RB962962 houve diferença estatística, com maiores teores para as variedades de origem cubana (Figura 2).

Os contrastes realizados para lignina na presença e ausência de gesso tiveram o mesmo comportamento dos teores de FDA e FDN (Figura 2), com exceção do contraste entre as variedades de cana-de-açúcar cubanas e a RB962962. Na presença de gesso as variedades de cana-de-açúcar cubanas tiveram menores valores e na ausência o comportamento foi inverso.

A variedade de cana-de-açúcar RB962962 melhora seus indicadores energéticos FDN e FDA com a aplicação de gesso. Como essa é uma variedade que tem uso na Zona da Mata de Pernambuco e é utilizada para produção de açúcar e álcool, vale salientar que para este objetivo, o gesso pode reduzir seu desempenho agro-industrial, porque favorece o crescimento das fibras.

Para o PCS o grupo cana-de-açúcar e das variedades cubanas foi superior ao grupo dos Capins na presença e ausência de gesso (Figura 2). A de cana-de-açúcar RB962962 e o grupo dos capins se diferenciaram estatisticamente com o uso do gesso, constatando-se que os capins deixam de competir com a cana-de-açúcar RB962962 na ausência da gessagem. Esse é mais um indicador energético favorecido pelo uso do gesso na cana-de-açúcar da variedade RB962962. As variedades de cana-de-açúcar cubanas e a RB962962 na presença e ausência de gesso não foram diferentes estatisticamente.

No compartimento folha, o grupo das variedades de cana-de-açúcar de origem cubana se destacou com caracteres energéticos mais favoráveis em relação ao grupo dos capins elefante e em alguns casos à cana-de-açúcar RB962962. O uso do gesso teve pouca influência nos resultados, porque o comportamento dos diferentes tipos de gramíneas foi semelhante tanto na presença, como na ausência de gesso (Figura 2).

O contraste realizado no colmo foi de maneira geral contrário ao que ocorreu na folha, onde o grupo das variedades de capim elefante tiveram melhores desempenhos em relação às variedades de cana de açúcar (Figura 3).

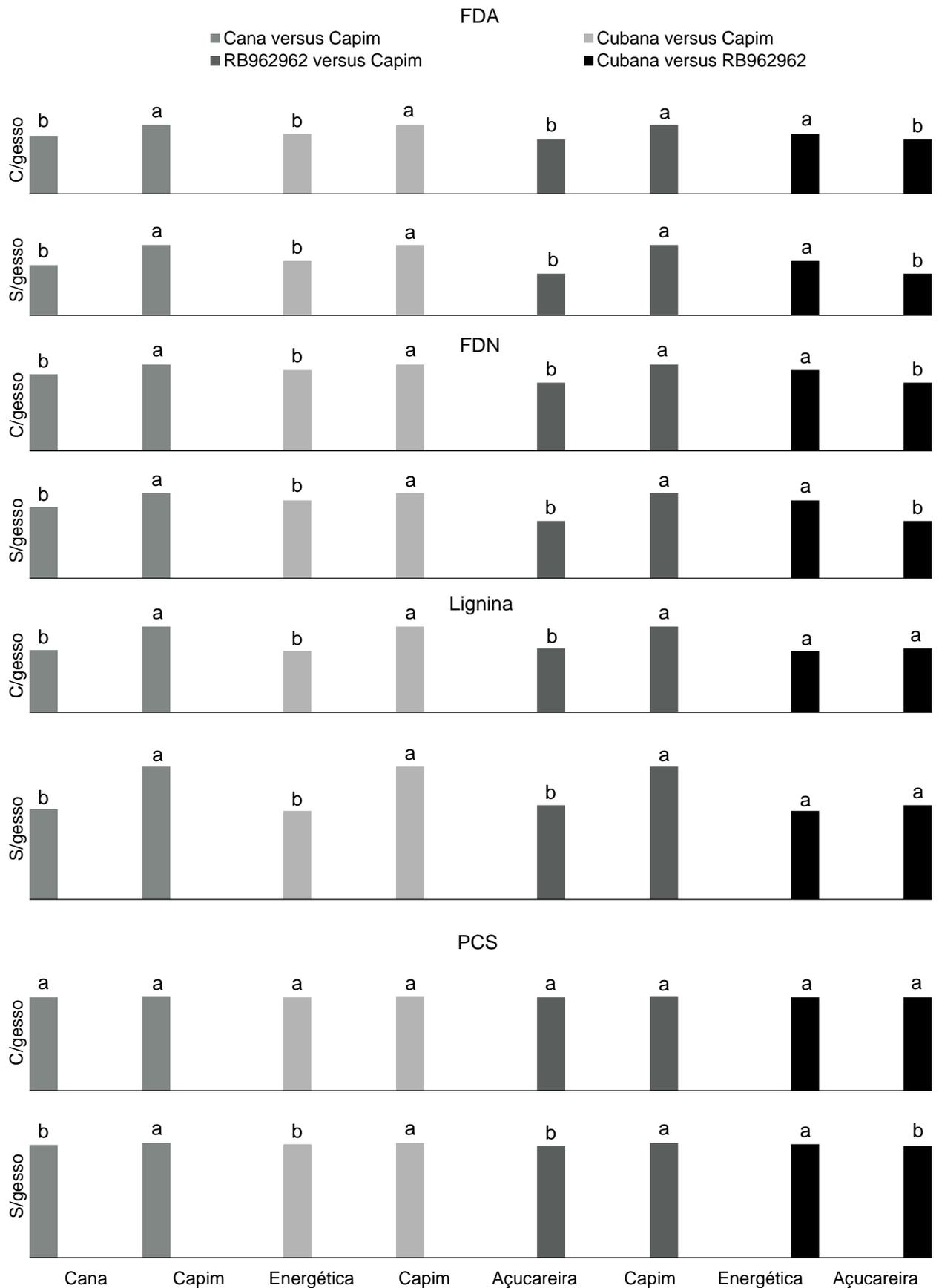


Figura 3. Contrastes ortogonais entre os grupos de gramíneas para o teor de FDA, FDN, Lignina e PCS no compartimento colmo aos seis meses após o plantio. Letras iguais por contraste não difere pelo teste F ($p > 0,05$).

Como o colmo compõe a parte mais importante da biomassa aérea total nas gramíneas, as variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela foram melhores fontes de biomassa para produção de energia com base em seus caracteres energéticos. O uso do gesso também não causou impacto, quando avaliado os caracteres energéticos entre os diferentes grupos.

O objetivo de mensurar os indicadores energéticos em quatro avaliações durante o crescimento dos diferentes tipos de gramíneas era de poder realizar uma curva, onde se pudesse estimar matematicamente o período ideal de corte, com o máximo aproveitamento energético. Os indicadores FDN, FDA e PCS permaneceram praticamente constantes durante todo o crescimento das gramíneas, independente da aplicação de gesso. O teor de lignina foi o único indicador energético que se diferenciou no tempo, principalmente entre folha e colmo (Figura 4).

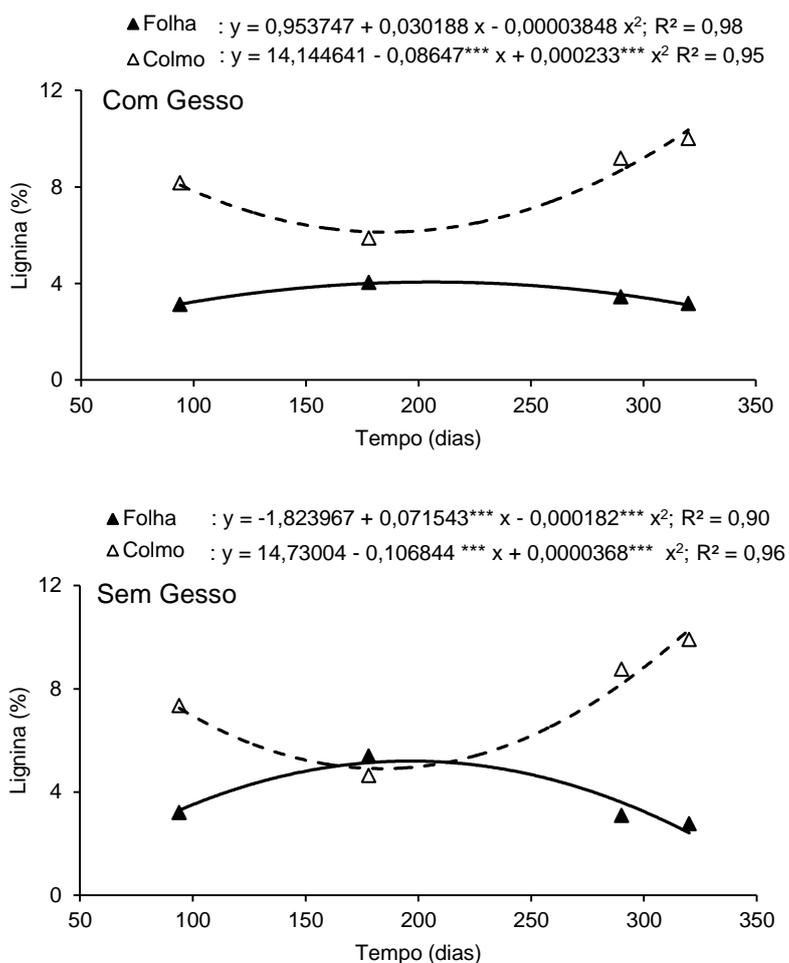


Figura 4. Teor de lignina em folha e colmo no capim elefante Cameron cultivado com e sem aplicação de gesso em função do tempo de crescimento das plantas.

Avaliando o teor de lignina na folha e colmo no capim elefante Cameroon com e sem a presença de gesso, observa-se que na folha os teores atingem o máximo aos seis meses após o plantio, começando a decair até a última coleta. Para o colmo o comportamento foi inverso, na última coleta os teores de lignina ainda continuavam a crescer. Como o colmo corresponde a maior fonte de biomassa das gramíneas o corte pode ser efetuado aos dez meses e meio após o plantio, ou acima, com base nos teores de lignina.

Avaliando o comportamento da produção de matéria seca no compartimento folha dos diferentes tipos de gramíneas, observou-se incremento da biomassa desse compartimento quando realizada a aplicação do gesso (Figura 5).

O capim Venezuela teve uma queda acentuada na produção de matéria seca de folha após seis meses após o plantio. A baixa precipitação durante a condução da pesquisa, principalmente após esse período, pode ter influenciado a menor produção de biomassa deste capim, que parece ter sido mais sensível a falta da água, reduzindo o número de folhas e diminuindo a biomassa nesse compartimento (Figura 5).

Com exceção do capim Cameroon sem aplicação de gesso, as demais gramíneas (variedades de cana-de-açúcar) continuaram produzindo matéria seca de folhas, mesmo com estresse hídrico. Além disso, o que mais vale destacar aqui foi o efeito benéfico que a aplicação de gesso proporcionou às gramíneas, incrementando sua produção de matéria seca de folhas. O grupo dos capins elefante foram mais sensíveis ao estresse hídrico, principalmente a variedade Venezuela e o capim Cameron, quando não se aplicou gesso.

Essa sensibilidade ao estresse hídrico é um indicador importante porque essa é uma região de baixa precipitação pluvial e a irrigação de gramíneas para uso energético não parece uma prática de manejo adequada economicamente. Por isso, gramíneas mais resistentes a períodos mais longos de veranicos pode ser um indicador decisivo para recomendação do melhor tipo de biomassa para a região do Araripe.

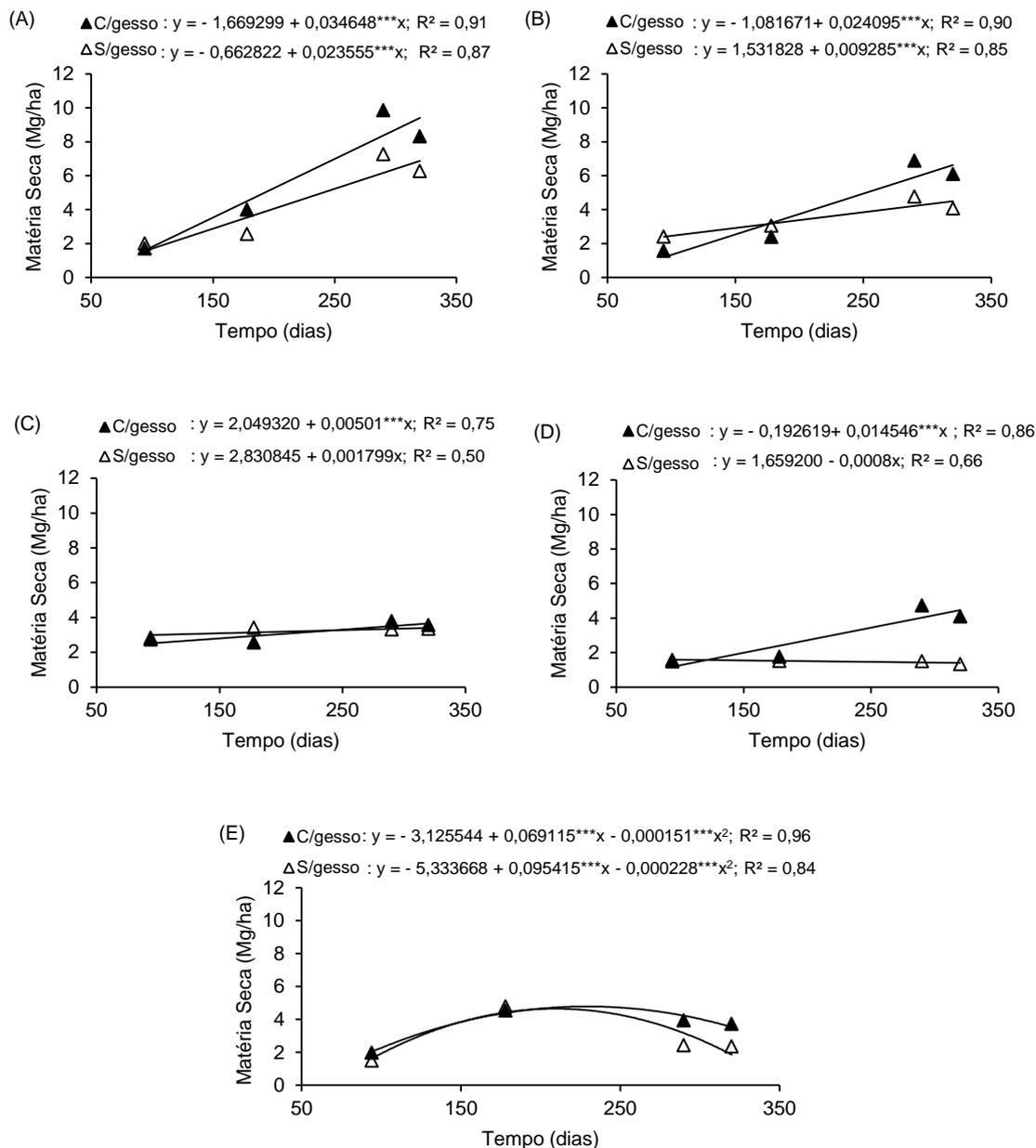


Figura 5. Produção de matéria seca de folha da cana de açúcar C90-176 (A), C90-178 (B) e RB 962962 (C) e do capim elefante Cameroon (D) e Venezuela (E), em função do tempo de cultivo na presença e ausência de gesso.

Devido à falta de dados nas avaliações ao longo do tempo não foi possível avaliar o comportamento de todos os tipos de gramíneas, quanto à produção de matéria seca de colmo. Só foi possível realizar essa avaliação nos capins Venezuela e Cameroon (Figura 6).

Para as variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela, a produção de matéria seca no compartimento colmo, assim como na folha, teve aumento de biomassa com a aplicação de gesso (Figura 6), evidenciando o benefício da prática da gessagem em ganhos de produtividade por essas gramíneas. Com a abundância de gesso mineral na região do Araripe, essa constatação é fundamental para que se possa continuar avançando em pesquisas que busquem alternativas de biomassa para produção de energia nessa região.

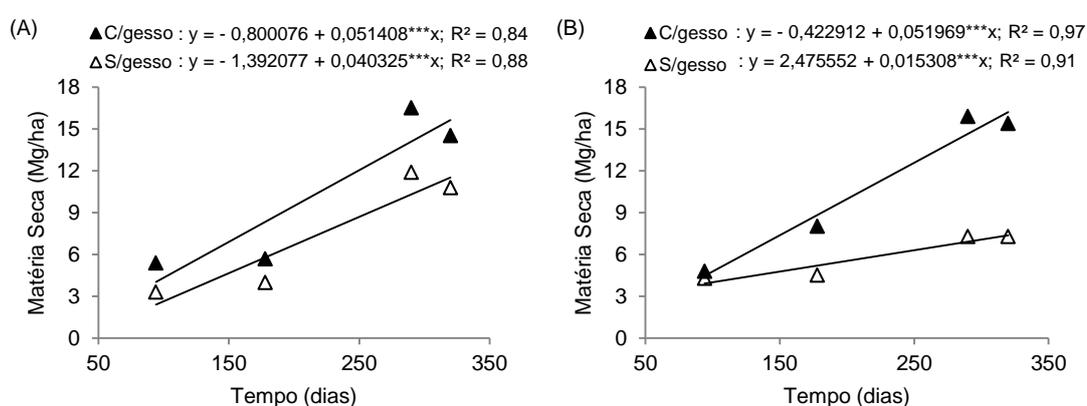


Figura 6. Produção de matéria seca de colmo do capim elefante Cameroon (A) e Venezuela (B), em função do tempo de cultivo na presença e ausência de gesso.

É importante observar que a sensibilidade do capim Venezuela para produção de matéria seca de folha no estresse hídrico (Figura 5) não aparece na produção de matéria seca de colmo (Figura 6). É como se a perda de folhas por essa variedade fosse um mecanismo de resistência ao estresse hídrico para poder manter a produção de matéria seca de colmo. Isso é importante, porque no colmo estão concentrados os indicadores energéticos.

O uso do gesso praticamente não diferenciou a umidade da biomassa das gramíneas, havendo apenas uma diminuição no capim Cameroon quando o gesso foi aplicado (Tabela 4). A variedade de cana-de-açúcar RB962962 teve maior teor de umidade, com uma média de 68,46%, valor esse próximo ao encontrado por Albuquerque (2013) nessa mesma variedade.

O uso de biomassa que apresenta elevado teor de umidade pode prejudicar a eficiência energética, pois parte da energia que seria utilizada para o seu propósito, neste caso a calcinação da gipsita, teria que ser gasto para eliminar a água contida no material vegetal. De acordo com Santos (2011), ao se utilizar materiais frescos, recomenda-se uma secagem prévia para reduzir a umidade a níveis adequados à combustão, aumentando a eficiência energética.

Tabela 4. Umidade e produção de matéria seca na parte aérea de diferentes fontes de energia de biomassa (gramíneas) e em função da aplicação de gesso mineral

| Gramíneas | Umidade | | Média | Matéria seca da parte aérea | | Média |
|--------------------------|-------------|---------|--------------------------|--------------------------------|---------|-------|
| | C/Gesso | S/Gesso | | C/Gesso | S/Gesso | |
| | -----%----- | | | -----Mg ha ⁻¹ ----- | | |
| C90-176 ⁽¹⁾ | 59,89Ab | 59,04Ab | 59,46b | 18,04Aa | 15,48Aa | 16,76 |
| C90-178 ⁽¹⁾ | 57,95Ab | 59,97Ab | 58,96b | 17,23Aa | 12,50Ba | 14,86 |
| RB96292 ⁽²⁾ | 69,51Aa | 67,41Aa | 68,46a | 14,92Aa | 13,58Aa | 14,25 |
| Cameron ⁽³⁾ | 52,30Bc | 61,27Ab | 56,79c | 18,63Aa | 12,12Ba | 15,37 |
| Venezuela ⁽³⁾ | 61,09Ab | 58,40Ab | 59,75b | 19,14Aa | 9,67Ba | 14,41 |
| Média | 60,15 | 61,22 | | 17,59a | 12,67b | |
| | | | F (análise da variância) | | | |
| Gramíneas | | 28,37** | | | 1,29ns | |
| Gesso | | 2,01ns | | | 38,25** | |
| Gram*Ges | | 7,97** | | | 3,29* | |
| C.V.(%) | | 3,94 | | | 16,64 | |

⁽¹⁾Cana-de-açúcar energética de origem cubana; ⁽²⁾Cana-de-açúcar açucareira de origem brasileira; ⁽³⁾Capim elefante. Letras maiúsculas iguais na Linha e minúsculas na Coluna indicam que os efeitos estudados não diferem pelo teste de Scott & Knott ($p>0,05$).

^{ns} Não Significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A produção de matéria seca total das gramíneas foi abaixo do encontrado em outras pesquisas com cana-de-açúcar e capim elefante (PINTO et al., 2003; OLIVEIRA, 2008; QUESADA, 2005; FLORES, 2009; THIAGO, 2009) (Tabela 4).

Dentre os principais fatores que limitam a produtividade das culturas em solos aráveis em várias partes do mundo destacam-se a deficiência hídrica e o estresse nutricional (FAGERIA, 1998). Durante a condução do experimento a precipitação acumulada foi de 436 mm, bem abaixo à média anual da região (752 mm), o que contribuiu para a baixa produção de matéria seca das gramíneas.

No entanto, com uma precipitação pluvial que foi praticamente metade da média anual da região, ainda se conseguiu produção de matéria seca em torno de 19 Mg ha⁻¹ (Tabela 4). Se essa produção for diretamente proporcional a mm de chuva, pode-se estimar produções de 40 Mg ha⁻¹, quando as condições forem, no mínimo, dentro da média anual da região.

O uso do gesso promoveu aumento de matéria seca e esse efeito benéfico dependeu do tipo de gramínea avaliada. Na variedade de cana-de-açúcar C90-178 e nas variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela, ocorreu um incremento de 5, 7 e 9 Mg ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente (Tabela 4). As variedades de cana-de-açúcar C90-176 e a RB962962 não se diferiram estatisticamente. Santos et al. (2015) encontraram um aumento de 9 Mg ha⁻¹ no capim elefante Cameroon, quando o gesso foi aplicado. Albuquerque (2013) não encontrou diferença na produção de matéria seca na variedade RB962962 com o uso do gesso, corroborando com os resultados do deste trabalho.

CONCLUSÕES

Houve pouca variação nos indicadores energéticos nos compartimentos folha e colmo das diferentes gramíneas quando avaliadas ao longo do tempo, cabendo à máxima produção de matéria seca como período ideal para uso dessas gramíneas como fonte de energia.

Os indicadores energéticos sofreram poucas alterações com a aplicação do gesso na folha e no colmo das gramíneas.

A variedade de cana-de-açúcar C90-178 e as variedades de capim elefante Cameroon e Venezuela tiveram incremento de matéria seca quando o gesso foi aplicado.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8644: Determinação do poder calorífico superior da madeira e do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1984.

ALBUQUERQUE, H. S. **Desempenho agroenergético, uso da água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Chapada do Araripe.** 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada – PE. 2013.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. **In:** RIBEIRO, A. C. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação.** Viçosa, UFV, p. 43-60, 1999.

ALVAREZ V., V. H. et al. Uso de gesso agrícola. **In:** RIBEIRO, A. C. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação.** Viçosa, UFV, p. 67-78, 1999.

ALVAREZ, V. H. et al. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas.** 1.ed., Viçosa: UFV, 131p., 2001.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas.** Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p., 1994.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. Cadastro de fontes de **abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 26p., 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p., 2011.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.

FLORES, R. A. **Produção de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para Fins Energéticos no Cerrado: Resposta a Adubação Nitrogenada e Idade de Corte.** 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2009.

FREITAS, V. et al. Características produtivas e qualitativas de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) avaliados sob pastejo na zona da mata de Pernambuco. **Maringá**, v. 26, no. 2, p. 251-257, 2004.

GADELHA, F. H. L. et al. Rendimento volumétrico de clones de híbridos de *Eucalyptus* sp. No Pólo Gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 331-341, abr-jun., 2012.

JORGE, H., et al. Variedades Energéticas: Una Alternativa Económica para la Producción de Energía. **In:** Primer Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico. México, 57-59p., 2005.

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. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2008.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção.** 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE. 2008.

PINTO, A. P.; PEREIRA, E. S.; MIZUBUTI, I. Y. Características nutricionais e formas de utilização da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 73-84, jan./jun., 2003.

QUESADA, D. M., et al. Parâmetros Qualitativos de Genótipos de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da Biomassa. **Circular Técnica 8**. Seropédica, RJ, Novembro, 2004.

QUESADA, D. M. **Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* schum.) com potencial 52 para uso energético, na forma de carvão vegetal.** 2005. 65 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. 2005.

RECOMENDAÇÕES de adubação para o Estado de Pernambuco. 2.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 198p., 2008.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA, JR, W. F. Cultura canavieira: um desperdício energético. **Maquinaria Agrícola**, n. 1, p. 2-3, 1991.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SANTOS, R. L. **Capim elefante cultivado em solo ácido com aplicação de gesso como alternativa fitoenergética para o Pólo gesseiro do Araripe/PE.** 2011. 105 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. 2011.

SANTOS, R. L. et al. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. **Australian Journal of Crop Science** (Online), v. 9, p. 1082-1088, 2015.

SIMÕES NETO, D. E. et al. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 73-81, janeiro de 2015.

THIAGO, R. D. R. T. **Avaliação nutricional da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal.** 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP. 2009.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. **Journal of the A.O.A.C.** Vol. 51, n. 4, p. 780-785, 1968.

Capítulo IV

Efluxo de CO₂ do solo em áreas Caatinga, gramíneas e eucalipto no Araripe
em Pernambuco

RESUMO

O monitoramento do efluxo de CO₂ direto do solo juntamente com outros parâmetros que podem influenciar na emissão, como temperatura e umidade do solo, facilita o entendimento do comportamento de gases do efeito estufa no solo em consequência das mudanças de uso do solo. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efluxo de CO₂ do solo e verificar a influência da umidade e temperatura do solo nesse fluxo em áreas de Caatinga, gramíneas e florestas de eucalipto no Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco. O trabalho foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Araripina. Foram realizadas cinco avaliações, duas no período de seca (junho e agosto de 2014) e três no período chuvoso (dezembro de 2014, fevereiro e abril de 2015). A média geral do efluxo de CO₂ do solo foi de 2,07; 2,73 e 1,67 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para as áreas de Caatinga, gramíneas e eucalipto, respectivamente. As áreas tiveram o mesmo comportamento para o efluxo de CO₂. Nos períodos de seca houve menores emissões e nos períodos de chuva maiores. Houve correlação entre o efluxo de CO₂ do solo com a temperatura e a umidade do solo.

Palavras chaves: Respiração do solo, temperatura, umidade, manejo do solo

ABSTRACT

Monitoring direct CO₂ efflux from the soil along with other parameters that can influence the emission, such as temperature and soil moisture, facilitates the understanding of the greenhouse gas behavior in soil as a result of land use changes. Thus, objective of this study was to evaluate the CO₂ soil efflux in areas of Caatinga, grass and eucalyptus forests in the Gypsum Pole of Araripe in Pernambuco, and verify the influence of soil moisture and soil temperature in CO₂ soil efflux. The study was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), in the municipality of Araripina. There were 5 evaluations two in the dry season (June-August 2014) and three in the rainy season (December 2014, February and April 2015). The overall average CO₂ soil efflux was 2.07; 2.73 and 1.67 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for the areas of Caatinga,

grasses and eucalyptus, respectively. Areas had the same CO₂ soil efflux behavior. In dry periods the emissions were lower than in the rain periods. There was a correlation among CO₂ soil efflux with temperature and soil moisture.

Keywords: soil respiration, temperature, humidity, soil management

INTRODUÇÃO

A Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, representa a maior parte da região semiárida. Possui uma área de aproximadamente 844.453 km², representando cerca de 9,9% da área total do Brasil (IBGE, 2004). Caracteriza-se por sua vegetação predominantemente xerófila e decídua, que permanece verde durante a estação das chuvas e perde suas folhas à medida que se acentua o período de estiagem (PEREIRA FILHO & BAKKE, 2010).

Atualmente a Caatinga se encontra sob forte pressão antrópica de vários tipos, principalmente para suprir a demanda da própria região e de outras regiões do país por lenha, carvão vegetal e pastagem nativa. A instalação de plantios comerciais é uma alternativa para suprir a demanda da região por produtos florestais e reduzir o corte de espécies nativas no Semiárido (SAMPAIO et al., 2002). Desta forma, a introdução de espécies que se adaptem às condições edafoclimáticas do semiárido e com alta produção de biomassa, representa para os agricultores uma alternativa de renda, a preservação do Bioma e a possibilidade de estocar carbono na fitomassa aérea e radicular (PRETERE, 2014). O plantio de gramíneas como cana-de-açúcar e capim elefante e as florestas de eucalipto podem ser uma alternativa viável.

No entanto, ocorrem mudanças no ambiente com o plantio de outras espécies que não fazem parte do bioma. Devido a grande preocupação atual em relação às alterações climáticas globais causadas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, dentre eles, o gás carbônico (CO₂), parte das atenções no meio científico está centrada sobre o solo e o uso da terra. Como são incertas as consequências do aumento da concentração de CO₂ atmosférico, saber detalhadamente quais os fatores que determinam as perdas de CO₂ em situações de diferentes usos e manejo é

essencial para a compreensão do fenômeno do aquecimento global (D' ANDRÉA, 2004).

As emissões de CO₂ no solo estão associadas à decomposição dos resíduos vegetais, a respiração dos microrganismos e raízes, como também da oxidação da matéria orgânica do solo (MOS). O revolvimento do solo para cultivo expõe a fração lábil da MOS facilitando a oxidação do C dos compostos orgânicos (CO) para CO₂. Isso ocorre devido ao aumento da aeração, ao maior contato do solo com os resíduos culturais e à exposição da matéria orgânica protegida nos agregados ao ataque microbiano (SIQUEIRA NETO et al., 2011).

A temperatura e a umidade do solo são índices importantes que atuam diretamente na atividade dos microrganismos presentes no solo resultando em maiores ou menores emissões de CO₂. Variações temporais com aumento da temperatura do solo e do ar provocam o aumento da mineralização da matéria orgânica, pois oferecem boas condições para a atividade dos microrganismos no solo (KANG et al., 2003). A umidade do solo também afeta o processo de respiração, pois tanto pode promover quanto inibir a produção de CO₂, em função do seu efeito na atividade dos microrganismos e na difusão dos gases (LAL, 2009).

O monitoramento do efluxo de CO₂ direto do solo em conjunto com outros parâmetros que se correlacionam, de maneira que se possa quantificá-los e relacioná-los, facilita o entendimento do comportamento de GEE no solo em consequência das mudanças de uso. Assim, pode-se constatar quais as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e atmosfera, e as suas consequências para o clima global quando se substitui a Caatinga por outras culturas.

Com o intuito de verificar se diferentes ecossistemas funcionam como sorvedouros ou emitantes de C para atmosfera, este trabalho teve como objetivo avaliar o efluxo de CO₂ do solo e verificar a influência da umidade e temperatura do solo nesse fluxo em áreas de Caatinga, gramíneas e floresta de eucalipto no Pólo Gesseiro do Araripe em Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na Chapada do Araripe, no município de Araripina. A Estação Experimental está localizada a 690 km do Recife, tem coordenadas geográficas de 07°27'37" S e 40°24'36" W e uma altitude de 831 m. De acordo com Cavalcanti & Lopes (1994), os solos são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão, que se inicia, geralmente, em novembro e termina em abril. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 752 mm com temperatura do ar média de 24 °C.

As avaliações foram realizadas entre maio de 2014 e abril de 2015. Durante esse período foram coletados dados da precipitação local e registrado um acumulado de 514 mm, temperatura do ar média de 27 °C (Figura 1).

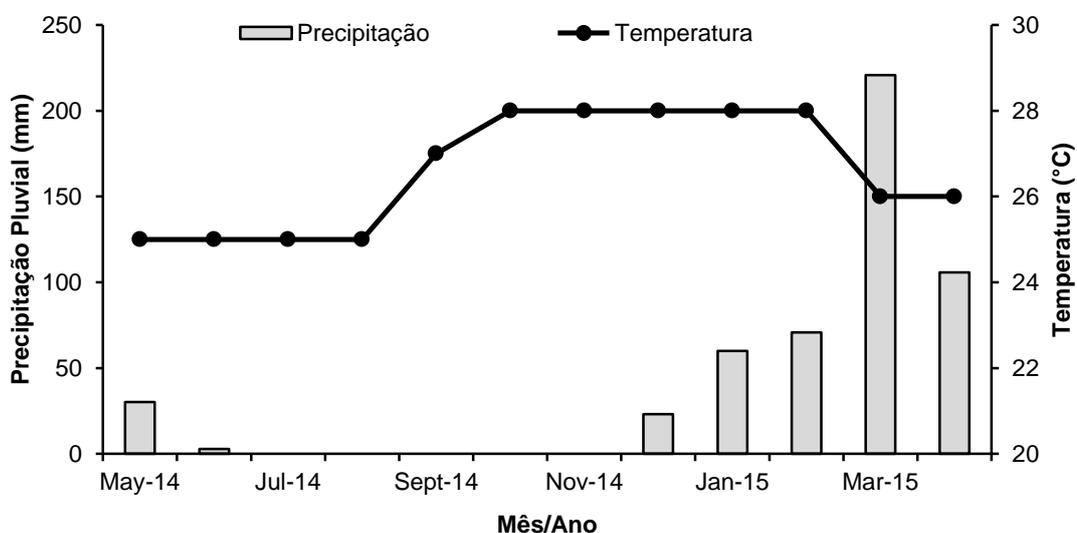


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) durante o período do ensaio de campo em Araripina.

O efluxo de CO₂ do solo foi avaliado em área de Caatinga preservada, área de gramíneas e área de eucalipto. As áreas de plantio de gramíneas e eucalipto são experimentais e têm como finalidade buscar alternativas de

biomassa para minimizar o uso da lenha da Caatinga, usada na alimentação dos fornos para calcinação do gesso, e assim minimizar o desmatamento desse bioma.

A área de Caatinga preservada foi composta por formações vegetais Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005). Possuía uma área de 35 ha de um total de 456 ha pertencentes ao IPA. Os solos apresentando uma textura franco arenosa, com 70,3% de areia, 15,6% de silte e 14,1% de argila.

Na área de gramíneas, o experimento foi implantado em 28 de fevereiro de 2014 e o primeiro corte realizado em 14 de janeiro de 2015, em um solo com textura franco argilo arenosa, apresentando 61,8% de areia, 3,3% de silte e 34,9% de argila. Foram utilizadas três variedades de cana: duas energéticas de origem cubana (C90-176 e C90-178) e uma RB (RB 962962) do Programa de Melhoramento Genético da Ridesa e duas variedades de capim elefante (Cameroon e Venezuela), submetidas a duas doses de gesso (0 e 0,6 t ha⁻¹), com quatro repetições. As parcelas eram compostas por cinco sulcos de 10 m de comprimento, espaçados de 1 m.

Na área de eucalipto o experimento foi implantado no início do mês de março de 2002 e o primeiro corte foi realizado em 08 de setembro de 2009. O solo apresentando uma textura franca arenosa, com porcentagens de areia, silte e argila de 68,7; 15,2; e 16,1%, respectivamente. Foram utilizados quinze clones de eucalipto em espaçamento de 2 x 3 m, com 4 repetições, estabelecidos em um delineamento em blocos casualizados (GADELHA, 2010) (Tabela 1).

Foram realizadas cinco avaliações de efluxo de CO₂ do solo, sendo duas avaliações nos meses representativos do período de seca (junho e agosto de 2014) e três nos meses representativos do período chuvoso (dezembro de 2014, fevereiro e abril de 2015).

Tabela 1. Descrição dos clones de eucalipto, Araripina-PE

| Clone | Descrição |
|-------|--|
| C49 | Híbrido de <i>Eucalyptus tereticornis</i> (cn) |
| C80 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (pc) |
| C315 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (pc) |
| C101 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (pc) |
| C78 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (pc) |
| C156 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (pc) |
| C39 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cn) |
| C27 | Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cn) |
| C51 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (pc) |
| C158 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (pc) |
| C41 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cn) |
| C31 | Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cn) |
| C25 | Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cn) |
| C33 | Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cn) |
| C11 | Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cn) |

Em que: pc = polinização controlada e cn = cruzamento natural.

Fonte: (GADELHA, 2010).

Um mês antes da primeira medição do efluxo de CO₂ do solo, foram inseridos aleatoriamente, colares de PVC em vinte pontos ao longo das três áreas de estudo. O uso de colares de PVC é necessário para evitar perturbações causadas pelo uso direto da câmara no solo que podem alterar as medidas de efluxo de CO₂.

Para as medições foi utilizado um analisador de gás por infravermelho (Infra Red Gas Analyzer-IRGA, LI-6400-XT, LI-COR, Lincoln, NE, USA). Esse sistema consiste de uma câmara fechada com volume interno de 991 cm³ e área de contato com o solo de 71,6 cm², acoplada sobre os colares

anteriormente inseridos no solo nos pontos estudados. Antes da avaliação, próximo a superfície da área, é registrada a concentração de CO₂ do ar e essa medida serve como referência para as avaliações do efluxo de CO₂ do solo.

Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho. As avaliações foram realizadas entre 10 horas da manhã e 15 horas da tarde. Em cada ponto foram realizados três ciclos de leitura do efluxo de CO₂, sendo necessários cerca de dois minutos para cada avaliação.

Concomitantemente às leituras de emissão de CO₂ foram conduzidas avaliações da temperatura do solo (Ts) na camada de 0-0,5 m de profundidade, utilizando-se um termômetro (termistor portátil), que é parte integrante do sistema ao qual a câmara para solos é acoplada. O sensor foi inserido no solo o mais perpendicular possível em relação à superfície ao lado da câmara de efluxo e as leituras realizadas no mesmo período das medidas de efluxo de CO₂.

A umidade do solo (Us) foi avaliada usando-se o Método Gravimétrico. As amostras foram coletadas a 5 cm de profundidade na mesma hora em que eram realizadas as medidas de efluxo de CO₂ do solo nos vinte pontos de avaliação de cada área. As amostras foram devidamente acondicionadas e encaminhadas para o Laboratório de Química do Solo da UFRPE, onde foram pesadas e colocadas em estufa não ventilada a 105° C até atingir o peso constante, posteriormente foram pesadas novamente para obtenção do teor de água na amostra. A umidade do solo foi obtida pela diferença entre a massa úmida e massa seca, dividida pela massa seca, para obtenção de massa de água por massa de solo seco. Multiplicou-se o resultado por 100, obtendo-se a porcentagem de água da amostra na base de massa seca.

Foi aplicada uma estatística descritiva para o efluxo de CO₂ do solo, temperatura e umidade do solo. Análises de correlação foram realizadas para determinar o grau de relacionamento entre as variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a área de Caatinga, a média (\pm desvio padrão) do efluxo de CO₂ do solo dos meses de junho, agosto e dezembro de 2014 e fevereiro e abril de

2015 foi $2,07 \pm 1,46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2). Na área de gramíneas foi de $2,73 \pm 1,64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Para a área de eucalipto a emissão média foi de $1,67 \pm 0,80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

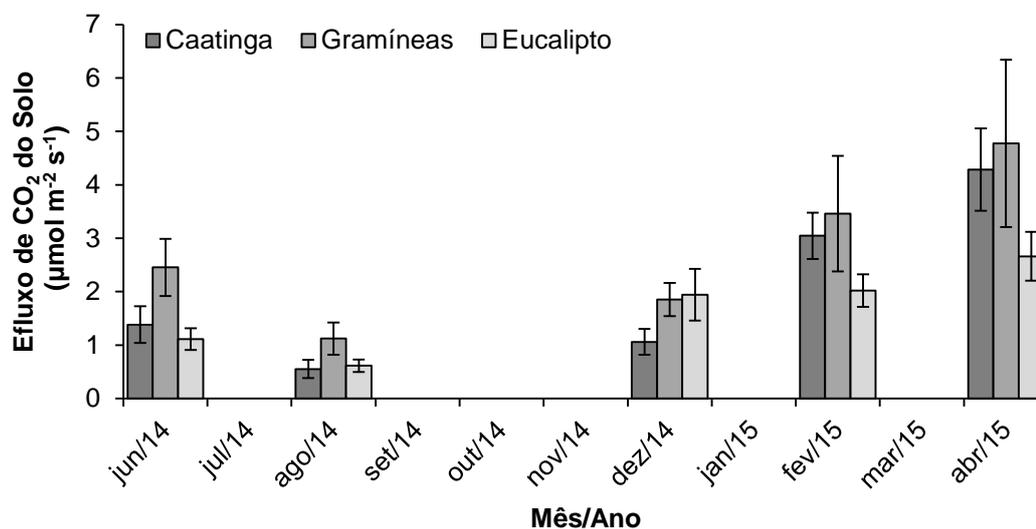


Figura 2. Efluxo de CO_2 do solo (média \pm DP) em área de Caatinga, gramíneas e eucalipto no Pólo gesseiro do Araripe em Pernambuco nos meses de junho e agosto e dezembro de 2014 e fevereiro e abril de 2015 (n=20).

Ferreira et al., (2013), em estudo do efluxo de CO_2 do solo em Caatinga e pasto no Agreste meridional de fevereiro de 2012 a fevereiro de 2013, encontraram uma média de efluxo para a Caatinga de $1,99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A maior emissão proveniente da área de gramíneas ocorreu possivelmente devido à implantação recente do experimento, onde foi necessário o revolvimento do solo. As emissões de CO_2 do solo estão associadas à decomposição de resíduos vegetais, respiração de microrganismos e oxidação da matéria orgânica do solo. Quando o solo é revolvido para o cultivo, a matéria orgânica lábil fica exposta favorecendo a oxidação de C de compostos orgânicos para CO_2 . Isso é provocado pelo aumento da aeração, maior contato entre os resíduos culturais e o solo e a exposição da matéria orgânica protegida pelos agregados do solo ao ataque microbiano (SIQUEIRA NETO et al., 2011).

Houve variação temporal para o efluxo de CO₂ do solo nas áreas de Caatinga, gramíneas e eucalipto onde as menores emissões ocorreram em agosto de 2014, e as maiores em abril de 2015 (Figura 2). Na área de Caatinga, gramíneas e eucalipto, em agosto de 2014 as emissões do efluxo de CO₂ do solo foram de $0,55 \pm 0,17$; $1,12 \pm 0,30$ e $0,61 \pm 0,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Em abril de 2015 as emissões foram de $4,29 \pm 0,77$; $4,78 \pm 1,57$ e $2,66 \pm 0,46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para Caatinga, gramíneas e eucalipto respectivamente.

Os baixos valores de emissão nas áreas ocorreram devido ao período de estiagem na região, diminuindo o teor de umidade do solo. Em abril as áreas ainda se encontravam sob o período das chuvas, o que aumentou a umidade do solo, promovendo a atividade dos microrganismos no solo e aumentando os níveis de emissão de CO₂ do solo.

Outros autores também encontraram o mesmo comportamento. Brandão (2012), avaliando o efluxo de CO₂ do solo em área de Cerrado no Pantanal Matogrossense, encontrou menor efluxo de CO₂ do solo no período de estiagem ($1,67 \pm 0,30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e maior no período chuvoso ($6,17 \pm 0,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Pinto-Junior et al. (2009), estimando o efluxo de CO₂ do solo em uma floresta de transição Amazônica/Cerrado e em área de pastagem, observaram menores valores de efluxo no período seco ($2,88$ e $1,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o máximo no período da estação chuvosa ($8,45$ e $8,27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Valentini (2004) avaliando o efluxo de CO₂ do solo mensalmente de uma área de floresta de transição no Noroeste de Mato Grosso, constatou como valor mínimo $4,01 \pm 0,48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na estação seca como valor máximo $10,51 \pm 0,69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na estação chuvosa.

A temperatura média do solo dos meses de junho, agosto e dezembro de 2014 e fevereiro e abril de 2015 na área de Caatinga foi de $25,8 \pm 2,1$ °C, na área de gramíneas $28,3 \pm 4,8$ °C e na área de eucalipto $27,7 \pm 3,5$ °C (Figura 3).

As maiores temperaturas do solo ocorreram no mês de agosto de 2014 e as menores em abril de 2015, correspondendo aos períodos de seca e chuva da região (Figura 3). Na Caatinga em agosto de 2014 a temperatura foi de $27,6 \pm 2,7$ °C e em abril $22,8 \pm 0,5$ °C. Na área das gramíneas $35,0 \pm 3,5$ °C em agosto de 2014 e $23,4 \pm 0,7$ °C em abril de 2015 e na área de eucalipto $30,5 \pm 4,8$ °C em agosto e $25,2 \pm 0,8$ °C em abril de 2015.

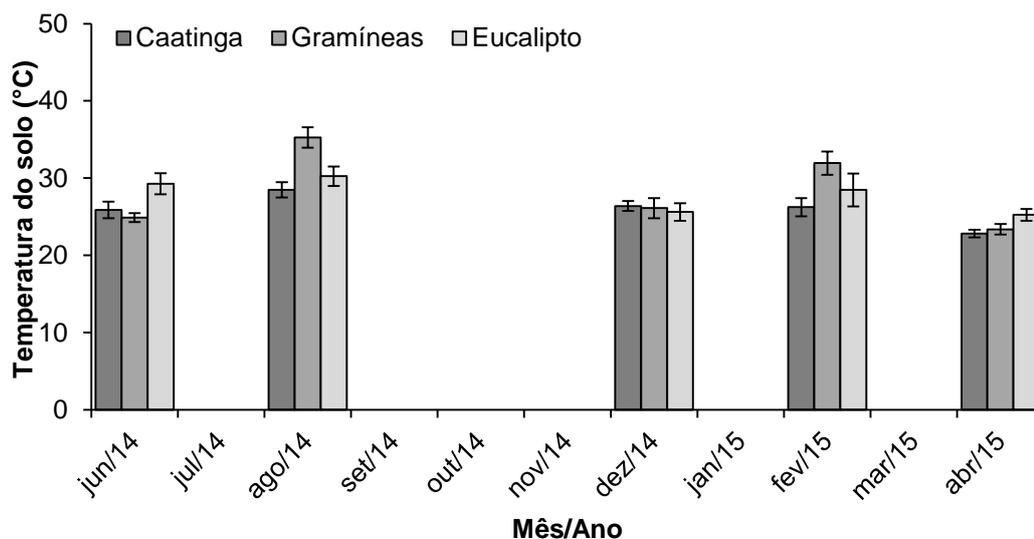


Figura 3. Temperatura do solo (média \pm DP) em área de caatinga, gramíneas e eucalipto no Pólo gesseiro do Araripe em Pernambuco nos meses de junho e agosto e dezembro de 2014 e fevereiro e abril de 2015 (n=20).

Para analisar a variação temporal entre o efluxo de CO₂ do solo e a temperatura do solo nas áreas, foi realizada uma análise de correlação entre todos os dados (n=100) (Figura 4). As áreas apresentaram uma correlação negativa de $r = -0,64$, $r = -0,40$ e $r = -0,40$ para Caatinga, gramíneas e eucalipto respectivamente. Observa-se que com o aumento da temperatura do solo o efluxo de CO₂ diminui.

Outros trabalhos encontraram correlação entre essas variáveis (VALENTINI, 2004; ESCOBAR, 2008; OLIVEROS, 2008).

Valentini (2004), avaliando o efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso, encontrou correlação significativa entre o efluxo de CO₂ do solo e a temperatura do solo ($r = 0,47$) de todos os dados avaliados (n = 238). Escobar (2008), estudando a emissão de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul, observou uma correlação significativa e negativa entre o efluxo de CO₂ do solo e a temperatura do solo.

Porém, outros estudos verificaram a pouca influência da temperatura do solo nas emissões de CO₂ (FERREIRA et al., 2008; BRANDÃO, 2012; MOITINHO et al., 2013).

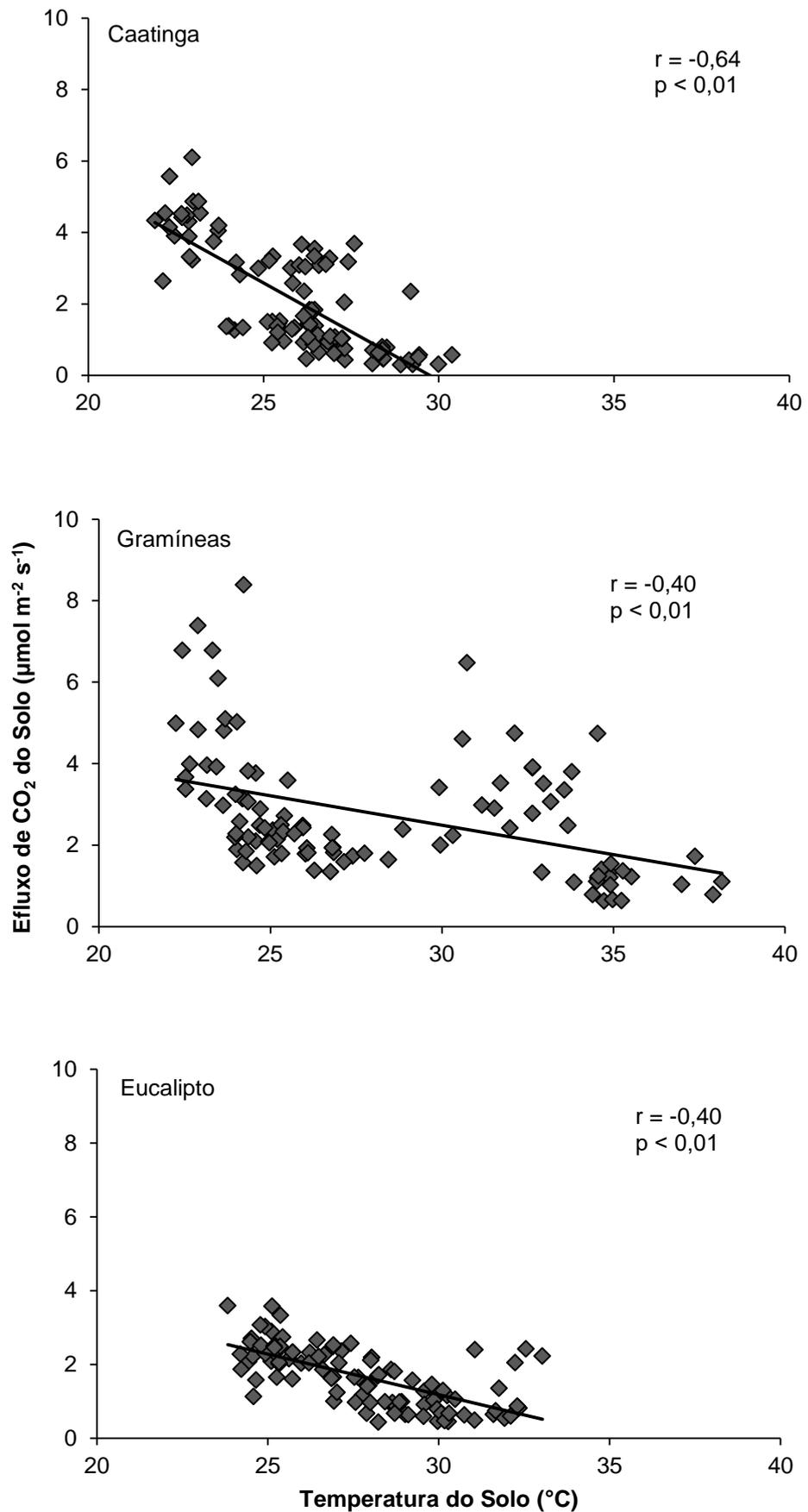


Figura 4. Correlação entre o efluxo de CO₂ do solo e a temperatura do solo em áreas de Caatinga preservada, gramíneas e eucalipto.

Avaliando a Variabilidade temporal da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em áreas de cana-de-açúcar, Moitinho et al. (2013), não observaram índices de correlação significativos ($p > 0,05$) entre a emissão de CO₂ do solo e a temperatura do solo ao longo do período experimental.

FERREIRA et al. (2008), avaliando o estoque de C do solo e a influência das alterações ambientais sazonais no efluxo de CO₂ na interface solo-vegetação em uma área de Campo Limpo Úmido, encontraram uma correlação baixa ($r = 0,19$) entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo.

Os trabalhos em que a emissão de CO₂ do solo teve influência da temperatura do solo estão associados à maior diferenciação de amplitude térmica, corroborando com os dados deste trabalho.

Não houve diferença da umidade média do solo dos meses de junho, agosto e dezembro de 2014 e fevereiro e abril de 2015 entre as áreas, constatando-se uma porcentagem média de 4,1% (Figura 5).

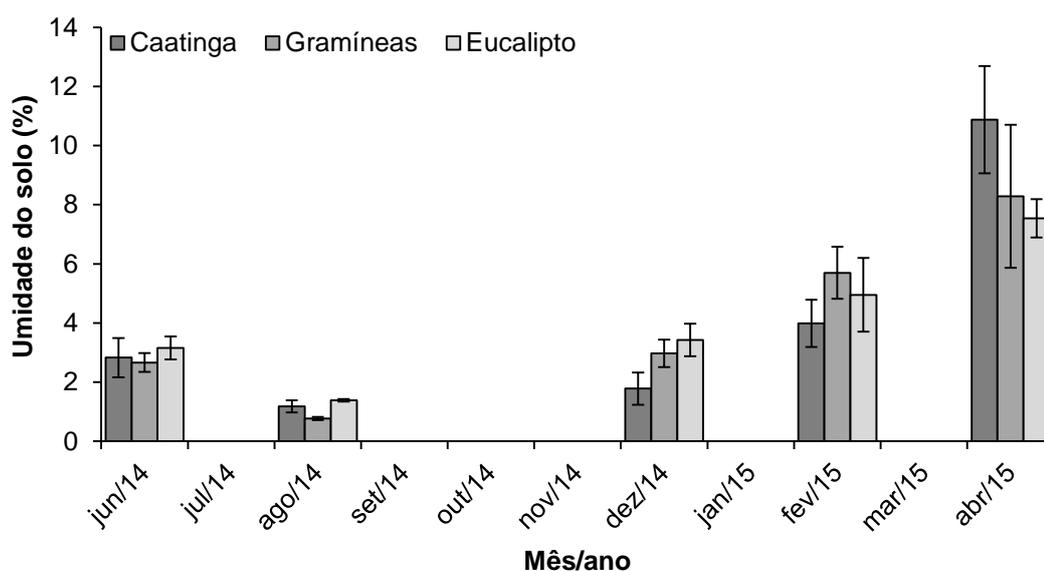


Figura 5. Umidade do solo (média \pm DP) em área de Caatinga, gramíneas e eucalipto no Pólo gesseiro do Araripe em Pernambuco nos meses de junho e agosto e dezembro de 2014 e fevereiro e abril de 2015 ($n=20$).

Houve uma variação temporal na umidade do solo, em que as maiores porcentagens ocorreram no mês de agosto de 2014 e as menores em abril de 2015, de acordo com os períodos de menor e maior precipitação na região (Figura 5). Na Caatinga em agosto de 2014 a umidade foi de $1,2 \pm 0,2\%$ e em abril $10,9 \pm 1,8\%$. Na área das gramíneas $0,8 \pm 0,1\%$ em agosto de 2014 e $8,3 \pm 2,4\%$ em abril de 2015 e na área de eucalipto $1,4 \pm 0,0\%$ em agosto e $7,5 \pm 0,6\%$ em abril de 2015.

Foram encontradas correlações positivas e significativas das médias entre o efluxo de CO_2 do solo e a umidade do solo entre todos os dados coletados ($n=100$) (Figura 6), com coeficientes de correlação de $r = 0,84$, $r = 0,67$ e $r = 0,73$, para as áreas de Caatinga, gramíneas e eucalipto, respectivamente, sugerindo que a umidade do solo contribuiu para o aumento ou diminuição do efluxo de CO_2 do solo e nesse caso há uma relação direta, onde com a diminuição da umidade do solo há uma diminuição das emissões de CO_2 .

A umidade do solo exerce grande influência na emissão de CO_2 do solo, pois interfere nas características físicas e biológicas do solo (BRANDÃO, 2012). Vários trabalhos apontam a influência da umidade na emissão de CO_2 do solo em diferentes situações de solo e clima (SOTTA et al., 2004; ESCOBAR, 2008; PINTO-JR et al., 2009; MOITINHO et al., 2013).

Furtado Neto et al., (2013), avaliando a influência da umidade no efluxo de CO_2 do solo para atmosfera em uma área de floresta primária em Belterra, no Pará, encontraram correlação significativa e positiva entre o efluxo de CO_2 e temperatura do solo ($r = 0,78$).

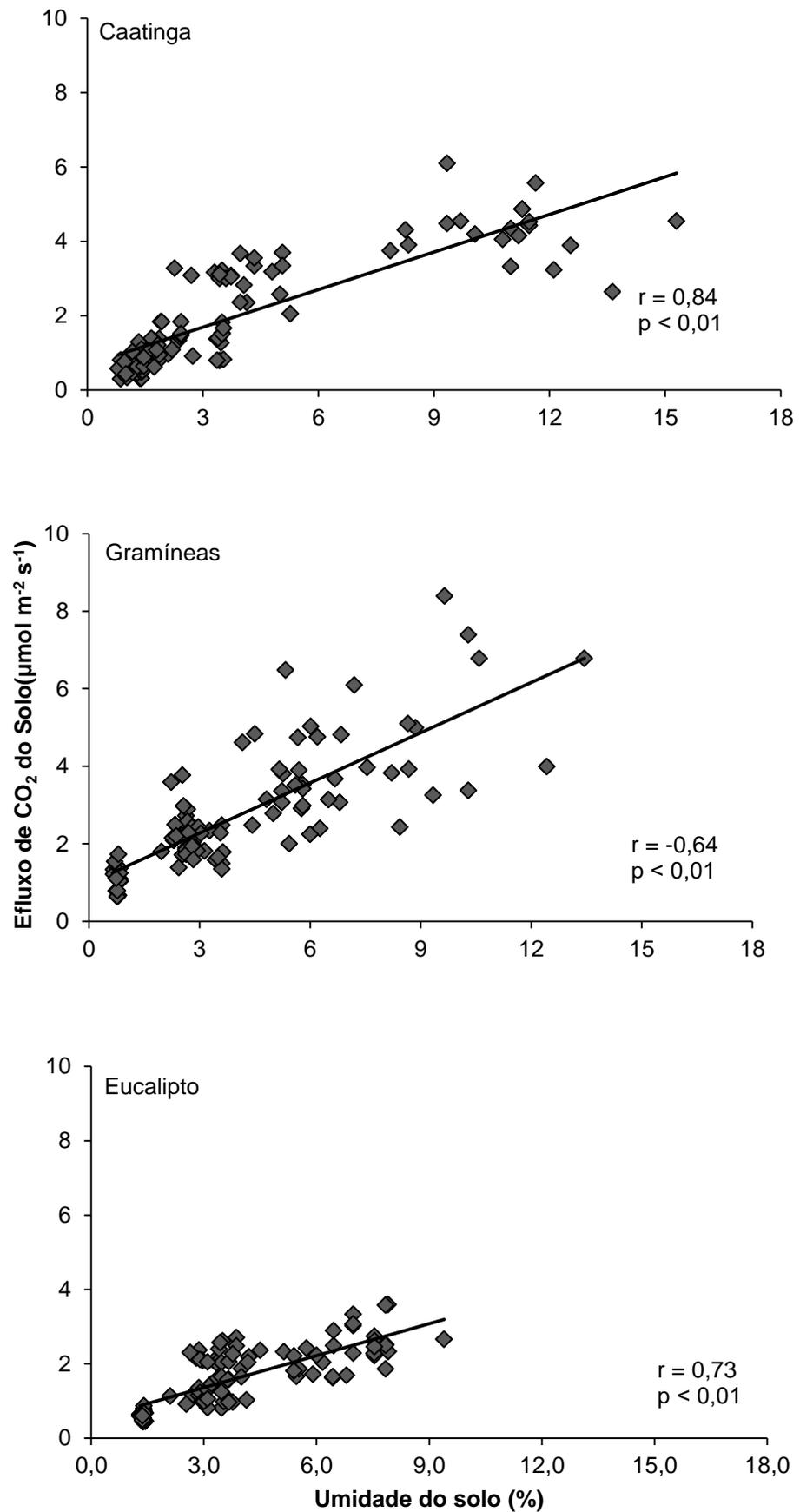


Figura 6. Correlação entre o efluxo de CO₂ do solo e a umidade do solo em áreas de Caatinga preservada, gramíneas e eucalipto.

CONCLUSÕES

A média geral do efluxo de CO₂ do solo foi de 2,07; 2,73 e 1,67 μmol m⁻² s⁻¹, para as áreas de Caatinga, Gramíneas e eucalipto, respectivamente.

Houve variação temporal do efluxo de CO₂ do solo nas diferentes áreas.

As áreas tiveram o mesmo comportamento para o efluxo de CO₂, nos períodos de seca houve menores emissões e nos períodos de chuva maiores.

A temperatura e umidade do solo tiveram influência na emissão de CO₂, atuando diretamente na atividade de microrganismos e difusão dos gases.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, A. A. **Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no pantanal mato-grossense**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT. 2012.

CAVALCANTI, A. C.; LOPES, O. F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p, 1994.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto. Cadastro de fontes de **abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Araripina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 26p, 2005.

D' ANDRÉA, A. F. **Fluxo de CO₂ do solo em áreas com cafeeiros e povoamentos florestais**. 2004. 97 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG. 2004.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria-RS. 2008.

FERREIRA, E. A. B.; MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C. Influência das variações ambientais sobre o fluxo de CO₂ em solos de Campo Úmido no Cerrado. In: II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, 2008, Brasília. Anais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

FERREIRA, C. C.; XAVIER, F. S.; CORREIA, K. G, ANTONINO, A. C. D. Estudo do efluxo de CO₂ do solo em caatinga e pasto no agreste meridional de Pernambuco, Brasil. In: XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX 2013 – UFRPE: Recife, 09 a 13 de dezembro. Anais Online. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R1125-2.pdf>.

FURTADO NETO, A. T.; MIÉRCIO JUNIOR, R. T.; DILL, T.; VALENTE, F.; COSME, R.; MOURA, J. M. S.; SILVA, H. C. P.; KELLER, R. S. M.; CRILL, P. Influência da umidade no efluxo de CO₂ do solo para atmosfera em uma área de floresta primária, Belterra, PA. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, p. 025 - 027, Dez. 2013.

GADELHA, F. H. L. **Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus brassiana* (Cruzamento Natural) na Chapada do Araripe – PE.** 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Mapa de Biomas do Brasil: primeira aproximação. Brasília: Diretoria de Geociências, 2004.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 136, n. 3, p. 173-184, 2003.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 158–169, 2009.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Variabilidade temporal da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em áreas de cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, vol. 8, n. 2, Nov 2013.

OLIVEROS, L. F. C. **Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo vermelho do Rio Grande do Sul**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2008.

PEREIRA FILHO, J. M.; BAKKE, O. A. **Produção de forragem de espécies herbáceas da Caatinga. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga** / Maria Auxiliadora Gariglio... [et al.], organizadores. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p.

PINTO-JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMILINI, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do Solo em Floresta de Transição Amazônica Cerrado e em Área de Pastagem. **Acta Amazônica**, vol. 39, n. 4, p. 813-822, 2009.

PRETERE, V. G. **Carbono no semiárido brasileiro. Agricultura conservacionista no Brasil**/ Luiz Fernando Carvalho Leite, Giovana Alcântara Maciel, Ademir Sérgio Ferreira de Araújo, editores técnicos. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 598 p.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. (Ed.). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste – APNE, Centro Nordestino de Informações sobre Plantas – CNIP, 2002. 176 p.

SOTTA, E.D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A.D.; HODNETT, M.G.; GRACE, J. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the Central Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 601-617, 2004.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-76, 2011.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; & BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-76, 2011.

VALENTINI, C. C. A. **Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. 2004.

CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação de gesso mineral não elevou os teores de Ca^{2+} do solo em subsuperfície, porém incrementou os teores de sulfato até 0,6 m de profundidade e reduziu a saturação por Al. Os teores de Mg^{2+} e K^+ não alteraram com a aplicação de gesso. Houve diferença nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo cultivado sob os diferentes tipos de gramíneas.

O conteúdo de K, Ca e Mg na parte aérea foi influenciado pelo uso do gesso, independente do tipo de gramínea cultivada. Com exceção da variedade de cana-de-açúcar RB962962 as gramíneas extraíram mais S quando o gesso foi aplicado. A eficiência de utilização biológica de N, P, K, Ca e Mg das gramíneas não sofreu influência da aplicação de gesso. As variedades de cana-de-açúcar cubanas C90-176 e C90-178 e a variedade de capim elefante Cameroon apresentaram menor eficiência de utilização biológica de S quando o gesso foi aplicado.

Houve pouca variação nos indicadores energéticos no colmo e na folha das diferentes gramíneas nos períodos avaliados. O incremento dos teores de lignina no colmo do capim elefante Cameron sugere que o corte dessa gramínea para uso energético não deve ocorrer antes dos 200 após o plantio. A aplicação de gesso aumentou a produção de matéria seca com incrementos de até 9 Mg ha^{-1} na variedade de capim elefante Venezuela.

A média geral do efluxo de CO_2 do solo foi de 2,07; 2,73 e $1,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para as áreas de Caatinga, gramíneas e eucalipto, respectivamente. As áreas tiveram o mesmo comportamento para o efluxo de CO_2 . Nos períodos de seca houve menores emissões e nos períodos de chuva maiores. Houve correlação entre o efluxo de CO_2 do solo com a temperatura e a umidade do solo.