

PAULO IGOR BARBOSA E SILVA

**MANEJO DA CORREÇÃO DA ADIDEZ DO SOLO NO CONSÓRCIO
MILHO-BRAQUIÁRIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586m
2012

Silva, Paulo Igor Barbosa e, 1977-
Manejo da correção da acidez do solo no consórcio
milho-braquiária / Paulo Igor Barbosa e Silva. – Viçosa, MG,
2012.
xii, 86f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Lino Roberto Ferreira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 56-70.

1. Solos - Acidez. 2. *Zea mays*. 3. *Brachiaria brizantha*.
4. Calcário. 5. Plantas forrageiras I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.


CDD 22. ed. 631.42

PAULO IGOR BARBOSA E SILVA

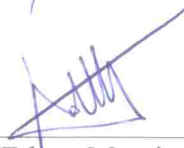
**MANEJO DA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO NO CONSÓRCIO MILHO-
BRAQUIÁRIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

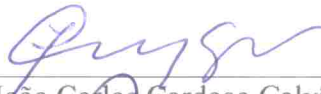
APROVADA: 19 de outubro de 2012



Aroldo Ferreira Lopes Machado



Edson Marcio Mattiello



João Carlos Cardoso Galvão



Reinaldo Bertola Cantarutti
(Coorientador)



Lino Roberto Ferreira
(Orientador)

*Aos meus pais, Paulo Sérgio e
Kathia, e ao meu sobrinho Isaac.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Fitotecnia, pelo aperfeiçoamento da minha formação científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por me terem concedido uma bolsa de estudos durante o período do curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro ao projeto.

Aos professores Lino Roberto Ferreira, Reinaldo Bertola Cantarutti e Paulo Roberto Cecon, pela orientação, pelos ensinamentos e pela consideração com que me distinguiram, durante o período do curso.

Aos professores Aroldo Ferreira Lopes Machado, Edson Marcio Mattiello e João Carlos Cardoso Galvão, pelo aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao técnico Luís Henrique Lopes de Freitas, do Laboratório de Herbicidas, pelo apoio e sugestões na implantação e realização dos experimentos.

A todos os amigos e colegas do grupo Manejo Integrado de Plantas Daninhas, pela amizade, disponibilidade, e pelos aconselhamentos, que contribuíram diretamente no desenvolvimento da pesquisa que serviu de base ao presente trabalho.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para concretização deste trabalho, incluindo funcionários de campo, estagiários, bolsistas, professores, amigos e familiares.

BIOGRAFIA

PAULO IGOR BARBOSA E SILVA, filho de Paulo Sérgio Lima e Silva e Kathia Maria Barbosa e Silva, nasceu em 14 de abril de 1977, no município de Fortaleza, Ceará.

Em dezembro de 2005, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.

Em março de 2006, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, concluindo-o em fevereiro de 2008. No mesmo ano, em março, ingressou no Doutorado no programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa.

LISTA DE TABELAS

| Número | Título | Folha |
|--------|---|-------|
| 1 | Tratamentos resultantes da combinação de doses de calcário, época e forma de aplicação do calcário, manutenção ou não da cobertura morta, aplicação ou não de gesso agrícola e o plantio simultâneo de híbrido simples (DKB 390) de milho (M) e <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandú (B), compondo um fatorial incompleto de acordo com a estrutura de uma matriz Baconiana. | 11 |
| 2 | Efeitos da incorporação de doses de calcário, aplicação de gesso, manutenção da vegetação natural e da consorciação com braquiária sobre a concentração de nutrientes na folha (V4) da cv. de milho DKB 390. | 16 |
| 3 | Efeitos da incorporação de doses de calcário, da aplicação de gesso, da manutenção da vegetação natural e da consorciação sobre a produtividade de grãos do híbrido simples de milho (DKB 390) e da biomassa seca da parte aérea da <i>Brachiaria brizantha</i> (cv. Marandú). | 18 |
| 4 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após cultivo com milho em consorciação com braquiária, que recebeu doses de calcário com ou sem incorporação. | 25 |
| 5 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após cultivo com milho consorciado com braquiária, que recebeu 7,00 t ha ⁻¹ calcário aplicadas superficialmente, com ou sem aplicação de gesso agrícola (1,0 t ha ⁻¹). | 26 |
| 6 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após cultivo com milho em consorciação com braquiária, que recebeu 7,00 t ha ⁻¹ calcário, com ou sem a manutenção da cobertura vegetal dessecada. | 27 |
| 7 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, que recebeu 7,00 t ha ⁻¹ de calcário, em parcelas de monocultivo de braquiária e de braquiária consorciada com milho. | 27 |
| 8 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, que recebeu 7,00 t ha ⁻¹ calcário, em parcelas de monocultivo de milho e de milho consorciado com braquiária. | 28 |
| 9 | Produtividade de grãos da cv. de milho DKB 390 (M) na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de consorciação com a braquiária (M + B), cv. Marandú, em duas safras. | 30 |
| 10 | Matéria seca da parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú (B), na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de cultivo, em duas safras. | 34 |
| 11 | Matéria seca da parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú (B) na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de cultivo em consorciação com o milho (M + B), em duas safras. | 36 |
| 12 | Nutrientes na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta às estratégias de aplicação de calcário e de cultivo em duas safras. | 39 |

| | | |
|----|---|----|
| 13 | Nutrientes na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de cultivo em consorciação com o milho (M + B) em duas safras. | 43 |
| 14 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após dois cultivos de milho em consorciação com brachiária (M + B), após 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha ⁻¹ de calcário, com ou sem manutenção da cobertura da vegetação após dessecação. | 47 |
| 15 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após 20 meses de aplicação superficial de 7,00 t ha ⁻¹ de calcário, de áreas em pousio ou cultivada com milho e braquiária em consorciação (M + B). | 48 |
| 16 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha ⁻¹ de calcário, com ou sem a aplicação de gesso agrícola, após dois cultivos de milho em consorciação com brachiária. | 49 |
| 17 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, aos 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha ⁻¹ , após dois cultivos de milho, em monocultivo ou em consorciação com brachiária. | 50 |
| 18 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha ⁻¹ , após dois cultivos de braquiária, em monocultivo ou em consorciação com milho. | 50 |
| 19 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após 20 meses da aplicação de doses de calcário, com ou sem incorporação, após dois cultivos de milho em consorciação com brachiária. | 52 |
| 20 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, em dose única após 20 meses ou com metade após 8 meses e a outra metade após 20 meses em áreas cultivadas com milho e braquiária em consorciação. | 53 |
| 21 | Características químicas do solo, em diferentes camadas, após 20 meses em dose única ou com metade aos 8 meses e a outra metade aos 20 meses em áreas cultivadas com milho e braquiária em consorciação. | 54 |

LISTA DE FIGURAS

| Número | Título | Folha |
|--------|---|-------|
| 1 | Dados de precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima do ar em Cajuri-MG durante o período experimental 2008/2009. | 8 |
| 2 | Dados de precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima do ar em Cajuri-MG durante o período experimental 2009/2010. | 9 |
| 3 | Nitrogênio na folha do milho, em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo. | 13 |
| 4 | Fósforo na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo. | 14 |
| 5 | Potássio na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo. | 14 |
| 6 | Cálcio na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo. | 14 |
| 7 | Magnésio na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo. | 15 |
| 8 | Produtividade de grãos de milho e de biomassa seca da parte aérea da braquiária, cultivadas em consorciação, em resposta ao aumento das doses de calcário aplicadas ao solo. | 17 |
| 9 | pH (H ₂ O) nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio. | 20 |
| 10 | Cálcio trocável nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio. | 21 |
| 11 | Magnésio trocável nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio. | 21 |
| 12 | Acidez trocável (Al ³⁺) nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio. | 22 |
| 13 | Acidez potencial (H + Al) nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio. | 22 |
| 14 | Produtividade de grãos do milho, na safra 2009/10, cultivado em consorciação com a braquiária, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário na safra 2008/09. | 29 |
| 15 | Matéria seca da parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 33 |

| | | |
|----|--|----|
| 16 | Matéria seca da parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 34 |
| 17 | Nitrogênio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 36 |
| 18 | Fósforo na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 37 |
| 19 | Potássio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 37 |
| 20 | Cálcio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 37 |
| 21 | Magnésio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 38 |
| 22 | Nitrogênio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 40 |
| 23 | Fósforo na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 40 |
| 24 | Potássio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 41 |
| 25 | Cálcio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 41 |
| 26 | Magnésio na parte aérea da <i>B. brizantha</i> , cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09. | 41 |
| 27 | pH (H ₂ O) em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação. | 44 |
| 28 | Cálcio trocável em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação. | 44 |
| 29 | Magnésio trocável em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação. | 45 |

| | | |
|----|--|----|
| 30 | Acidez trocável (Al^{3+}) em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação. | 45 |
| 31 | Acidez potencial (Al + H) em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação. | 46 |

RESUMO

SILVA, Paulo Igor Barbosa e, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Outubro de 2012. **Manejo da correção da acidez do solo no consórcio milho-braquiária.** Orientador: Lino Roberto Ferreira. Coorientadores: Reinaldo Bertola Cantarutti e Paulo Roberto Cecon.

Uma das dificuldades para se implantar o consórcio milho-braquiária é atribuída à baixa fertilidade dos solos das áreas degradadas do Brasil. Na busca de alternativas para reconstrução da fertilidade desses solos, realizou este trabalho que avaliou os efeitos das doses de calcário nas características químicas do solo em diferentes profundidades, a estratégia e a forma de aplicação dessas doses, cobertura morta, gesso agrícola e sistemas de cultivo em um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico. As doses de calcário corresponderam a 0,00; 0,25; 0,50, 1,00; 1,50 e 2,00 vezes a necessidade de calcário $7,00 \text{ t ha}^{-1}$ (PRNT = 105%) estimada para neutralizar o Al^{3+} e elevar os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Foram avaliadas doses de calcário, com ou sem incorporação, aplicação de gesso e manutenção da cobertura do solo. No ano 2, foram incluídos aos tratamentos do ano 1 uma parcela deixada anteriormente em pousio e a aplicação parcelada de calcário. O aumento da dose de calcário resultou numa maior produtividade de grãos e aumentou as concentrações de N, P, K, Ca e Mg na folha do milho. Quanto aos efeitos dos tratamentos na braquiária consorciada com o milho verificou-se que o aumento da dose de calcário reduziu o rendimento da braquiária. Entretanto, na braquiária em monocultivo, o aumento das doses do calcário resultou no ano 2 maior produção de matéria seca da braquiária e também maiores teores de N, P, K, Ca e Mg. No ano 1 o aumento da dose de calcário elevou o pH em água, os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e reduziu o teor da acidez trocável (Al^{3+}) e da acidez potencial (H+Al) do solo. Esses teores diminuíram com o aumento da profundidade do solo. No ano 2 constatou-se que esses teores dependeram da característica avaliada e da camada de solo considerada. A incorporação do calcário, a manutenção da vegetação e a aplicação de gesso melhoraram as características químicas do solo o que resultou numa maior produtividade de grãos de milho. Todavia, os efeitos das aplicações do calcário de forma integral ou parcelada dependem do cultivo anterior e da dose a ser aplicada.

ABSTRACT

SILVA, Paulo Igor Barbosa e, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2012. **Soil acidity management in corn intercropped with brachiaria.** Adviser: Lino Roberto Ferreira. Co-advisers: Reinaldo Bertola Cantarutti and Paulo Roberto Cecon.

One of the challenges of intercropping corn with brachiaria in degraded areas in Brazil is low soil fertility. This study was conducted to seek alternatives in rebuilding the fertility of such soils. We evaluated: the effects of limestone doses on soil chemical characteristics at different depths; the strategy and form of application of different doses; mulching; application of agricultural gypsum; and cultivation systems, in a dystrophic, Humic Red-Yellow Latosol. Lime doses were 0.00; 0.25; 0.50, 1.00; 1.50; and 2.00 times the limestone requirement (7.00 t ha⁻¹, TNP = 105%) estimated to neutralize Al³⁺ and increase Ca²⁺ + Mg²⁺ contents. Evaluations included lime doses, with or without incorporation, application of gypsum, and soil mulching. In year 2, a plot that had been previously left to fallow, and split applications of limestone were included, in addition to the treatments of year 1. Increased limestone doses resulted in higher grain productivity and higher concentrations of N, P, K, Ca, and Mg in the corn leaves. As to treatment effects on brachiaria intercropped with corn, increased limestone doses reduced brachiaria yield. However, in brachiaria grown as a monocrop, higher limestone doses resulted in higher brachiaria dry matter yield and higher N, P, K, Ca, and Mg contents in year 2. In year 1, higher limestone doses increased pH in water, and Ca²⁺ and Mg²⁺ contents, and decreased the soil's exchangeable acidity (Al³⁺) and potential acidity (H+Al) contents. Those contents decreased with soil depth. In year 2 those contents depended on the trait evaluated and the soil layer under consideration. Limestone incorporation, mulching, and gypsum application improved soil chemical characteristics, resulting in higher corn grain productivity. However, the effects of limestone applications, either as a single dose or as split doses depend on the crop previously grown and dose applied.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 ESTADO NUTRICIONAL E RENDIMENTOS DO MILHO E DA BRAQUIÁRIA EM RESPOSTA AO MANEJO DA CALAGEM..... | 3 |
| 2.2 EFEITOS DA CALAGEM SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO..... | 4 |
| 2.3 EFEITOS RESIDUAIS DOS MANEJOS DA CORREÇÃO DO SOLO NO DESEMPENHO DA CONSORCIAÇÃO MILHO – BRAQUIÁRIA..... | 6 |
| 2.4 EFEITOS RESIDUAIS DOS MANEJOS DA CORREÇÃO DO SOLO E DA CONSORCIAÇÃO MILHO – BRAQUIÁRIA SOBRE ATRIBUTOS DO SOLO..... | 6 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 7 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 13 |
| 4.1 ANO-1..... | 13 |
| 4.2 ANO-2 | 29 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 55 |
| 6 REFERÊNCIAS..... | 56 |
| 7 APÊNDICE..... | 71 |

1 INTRODUÇÃO

As pastagens naturais da Zona da Mata, localizadas geralmente em áreas de topografia acidentada, apresentam solos com elevada acidez, baixa fertilidade natural (VITOR et al., 2008), elevados teores de alumínio e encontra-se degradada (MESQUITA et al., 2004; VITOR et al., 2008), em maior ou menor grau (NASCIMENTO et al., 2006).

A recuperação ou a renovação de pastagens são estratégias para melhoria da produção e da cobertura vegetal em pastagens degradadas. A recuperação é o restabelecimento da sua capacidade produtiva com a mesma espécie. A substituição da forrageira existente por outras se constitui na renovação da pastagem (RODRIGUES e REIS, 1994). A renovação das pastagens na Zona da Mata tem sido a alternativa preferida (LEONEL et al., 2009; VITOR et al., 2008).

Para renovação das pastagens da Zona da Mata existe grande interesse pelas braquiárias (JAKELAITIS et al., 2005; LEONEL et al., 2009; VITOR et al., 2008), em especial pela *Brachiaria brizantha* (BOTREL e XAVIER, 2000). As braquiárias são forrageiras perenes, com grande produção de massa foliar de boa qualidade, resistentes ao pastejo e ao pisoteio e que protegem o solo contra a erosão (BIANCO et al., 2005), mesmo em regiões montanhosas (VITOR et al., 2008).

Em pastagens degradadas, o milho é cultivado em consorciação com a braquiária visando reduzir os custos relativos à correção e adubação do solo e ao controle de plantas daninhas, pois a consorciação, além de formação e recuperação de pastagens, permite a produção de grãos (COBUCCI, 2001). O rendimento de grãos do milho em consorciação com a braquiária pode ser igual (JAKELAITIS et al., 2005) ou inferior (SEVERINO et al., 2005) ao do milho solteiro, dependendo da densidade de semeadura da forrageira (GIMENES et al., 2008) e do controle das plantas daninhas (SEVERINO et al., 2005), dentre outros fatores.

O consórcio de braquiárias com culturas é uma alternativa que vem sendo utilizada e que compensa o investimento inicial na renovação de pastagens (JAKELAITIS et al., 2004). Os vários tipos de consorciação possíveis deram origem aos chamados sistemas de integração lavoura-pecuária (MACEDO, 2009). O milho tem sido a cultura preferida para a consorciação devido à sua tradição de cultivo, às várias cultivares adaptadas a diferentes regiões e à sua adaptação em consórcio (JAKELAITIS et al., 2005). As exigências nutricionais do milho são superiores às

das forrageiras, e requerem adubações, cujos efeitos residuais poderão propiciar maior produtividade das pastagens. O milho é sensível à acidez do solo tolerando no máximo 15% de saturação por Al^{3+} e exige teores de Ca^{2+} mais Mg^{2+} de pelo menos $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (ALVES et al., 1999). Portanto, a correção dessa acidez é necessária para se alcançar rendimentos de milho que viabilizem economicamente a integração lavoura-pecuária. Essa correção eleva os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , além de aumentar a disponibilidade de P e reduzir a concentração de Al^{3+} no solo, normalmente tóxico às plantas.

Como o relevo predominante na Zona da Mata é acidentado, o preparo do solo é difícil e desaconselhável e, em consequência, o sistema de plantio direto tem sido recomendado na renovação de pastagens. Esse sistema contempla a rotação ou consorciação de culturas, mobilização de solo restrita à linha de semeadura, manutenção da cobertura do solo e minimização do intervalo entre colheita e semeadura (AGNES, 2004). O método convencional de aplicação de calcário ao solo permite incorporação do corretivo nas camadas superficiais (VALE et al., 1997). Entretanto, no plantio direto, o calcário é aplicado sobre a superfície do solo, sem incorporação. Em solos mais ricos em matéria orgânica, é comum haver movimentação do Ca para camadas do solo, além do local onde esse cátion foi aplicado (PÁDUA et al., 2006). Esta constatação torna interessante o estudo da aplicação de calcário + resíduos vegetais.

Como a calagem em superfície pode ter ação limitada às camadas superficiais, principalmente nos primeiros anos de cultivo, a aplicação de gesso agrícola em superfície é apontada como uma alternativa na melhoria do ambiente radicular, compensando o reduzido efeito do calcário na subsuperfície do solo, sem necessidade de incorporação prévia do calcário (CAIRES et al., 2003). O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de P e outros nutrientes. Devido à sua solubilidade, o gesso aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação da água (CAIRES et al., 1999). Há um aumento no suprimento de Ca^{2+} e redução da toxidez por Al^{3+} na subsuperfície do solo.

O presente trabalho foi realizado com base em três hipóteses. A primeira é a de que existe efeito da aplicação de diferentes doses de calcário na nutrição e produtividade do milho e da braquiária, e nas características químicas do solo em

diferentes profundidades. A segunda hipótese é que esta influência pode ser alterada pela aplicação de gesso, presença de resíduos vegetais e pelo sistema de cultivo. A terceira hipótese é a de que os mencionados fatores apresentam efeitos residuais.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar efeitos e manejos da correção do solo e da consorciação milho-braquiária sobre atributos químicos do solo e a produtividade dessas culturas, em dois anos agrícolas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESTADO NUTRICIONAL E RENDIMENTOS DO MILHO E DA BRAQUIÁRIA EM RESPOSTA AO MANEJO DA CALAGEM

A calagem, prática comumente utilizada para neutralizar a acidez do solo, é considerada como capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes, diminuir o teor de elementos tóxicos, melhorar o ambiente radicular e restaurar a capacidade produtiva dos solos (CAIRES et al., 2005), influenciando o estado nutricional das culturas. Informações sobre como a calagem influencia na nutrição das plantas pode indicar práticas relativas à calagem e à adubação das culturas mais adequadas.

A calagem aumentou as concentrações de N, P e Mg e diminuiu as concentrações de Mn e Al nas folhas (estágio vegetativo V4) de duas cultivares de milho (PAULETTI et al., 2010). A aplicação superficial de doses de calcário aumentou a absorção de P, Ca, Mg e S pelas plantas (TISSI et al., 2004). Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no tecido foliar do milho, bem como sua absorção pelas plantas, não foram alterados com a aplicação de calcário na superfície (TISSI et al., 2004). O gesso, que reduz os efeitos nocivos da acidez do solo, também pode influenciar o estado nutricional das culturas. O gesso aumentou a concentração de N, K e Ca nas folhas do milho (CAIRES et al., 2004).

A influência da calagem no estado nutricional do milho pode se refletir no seu crescimento. A aplicação superficial de doses de calcário não alterou o comprimento e a distribuição relativa de raízes de milho até a profundidade de 40 cm e reduziu o raio médio de raízes (TISSI et al., 2004). Caires et al. (2004) verificaram que doses de gesso não influenciaram o crescimento radicular do milho, em contraste com a observação de outros autores de que doses maiores de gesso foram mais favoráveis ao crescimento das raízes do milho do que doses menores (LEITE et al., 2006).

Andreotti et al. (2001) constataram que o aumento da dose de calcário resultou em maior biomassa seca das folhas e colmos do milho.

Além da influência sobre o crescimento, vários aspectos relativos à calagem podem ter efeito sobre o rendimento do milho. Miranda et al. (2005) realizaram experimentos em dois anos, avaliando a incorporação do calcário, no primeiro ano, a realização de plantio direto, no segundo ano, e a aplicação superficial do calcário no segundo ano. Verificaram que a incorporação do calcário, no primeiro ano, proporcionou rendimentos superiores aos obtidos com a aplicação superficial (MIRANDA et al., 2005). Além disso, a resposta do milho ao parcelamento do calcário foi proporcional às quantidades parceladas e incorporadas (MIRANDA et al., 2005). Entretanto, Caires et al. (2004) verificaram que a calagem superficial, com ou sem parcelamento, ou com incorporação aumentou o rendimento do milho. Além da forma de aplicação, o aumento da dose de calcário aplicada pode aumentar o rendimento do milho (SINGH et al., 1987; FAGERIA, 2001), mas os aumentos dependem da condição ambiental. Singh et al. (1987) verificaram que 2,0 t ha⁻¹ de calcário proporcionaram maiores rendimentos do milho em dois locais, mas em outro local, a metade dessa dose foi a ideal para obtenção de maiores rendimentos. Dosagens maiores provocaram diminuição no rendimento da referida cultura, provavelmente pelo desbalanceamento nutricional e deficiência induzida de Zn ou outros micronutrientes (FRIESSEN et al., 1980).

2.2 EFEITOS DA CALAGEM SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

O conhecimento dos efeitos da calagem sobre as propriedades químicas do solo pode auxiliar na solução de problemas relativos à correção do solo, incluindo dosagem, frequência e formas de aplicação do calcário. Os trabalhos sobre o assunto geralmente tratam da avaliação dos atributos químicos do solo, em diferentes camadas.

O aumento da dose de calcário promove elevação do pH, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V, e redução do Al³⁺ e (H + Al) (ALLEONI et al., 2005; NATALE et al., 2007). Esses efeitos, em geral, diminuem da camada superficial para as camadas mais profundas do solo (MARCELO et al., 2012). A incorporação do calcário neutraliza a acidez em profundidades maiores e mostra-se mais eficiente do que a aplicação superficial (CAIRES et al., 2004; ALLEONI et al., 2005; KAMINSKI et al., 2005). Os efeitos

são mais pronunciados quando a incorporação do calcário é feita em maiores profundidades (FREIRIA et al., 2008) e depende da forma como é feita a incorporação (WEIRICH NETO et al., 2000). Além disso, a incorporação do calcário proporciona maior uniformidade na neutralização da acidez do solo em profundidade (LEITE et al., 2006). Entretanto, alguns autores acreditam que a calagem superficial propicia alterações de atributos químicos em profundidades comparáveis à calagem incorporada, especialmente em solos menos argilosos e com menor acidez (GATIBONI et al., 2003).

A aplicação de calcário pode influenciar diferentemente os atributos do solo. Fidalski e Tormena (2005) verificaram que alterações nos teores de Ca limitaram-se à camada de 0-10 cm, enquanto os teores de Mg aumentaram progressivamente do primeiro ao terceiro ano a 0-60 cm de profundidade. Verificaram ainda que a máxima alteração nas características químicas do solo foi obtida a partir de doses de calcário superiores ao dobro da necessidade de calcário.

Efeitos das aplicações de gesso sobre as características do solo e rendimento das culturas têm sido estudados isoladamente (RAMPIM et al., 2011; NAVA et al., 2012) ou em combinação com aplicações de calcário (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; SORATTO e CRUSCIOL, 2008). Aplicado isoladamente, o gesso influencia diferentemente os atributos químicos do solo em diferentes profundidades e essa influência depende da dose utilizada (RAMPIM et al., 2011; NAVA et al., 2012). A aplicação combinada de gesso e calcário melhora as propriedades químicas subsuperficiais, mas principalmente as propriedades das camadas superficiais (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; SORATTO e CRUSCIOL, 2008). A interação doses de calcário x doses de gesso é relativamente rara. Em 140 análises, isto é, 5 profundidades do solo x 4 períodos de avaliação x 7 atributos do solo, a interação doses de calcário x doses de gesso somente ocorreu em 20% delas (SORATTO e CRUSCIOL, 2008). As interações foram mais frequentes com o teor de Al^{3+} (5%), aos doze meses (8%) e na camada de 5-10 cm (6%).

O uso de resíduos orgânicos em combinação com o calcário pode melhorar as propriedades das camadas mais profundas do solo. Os efeitos da calagem, sem extratos vegetais, limitaram-se à camada superficial do solo (CASSIOLATO et al., 2000). Na presença de extratos de aveia, a calagem aumentou o pH e o teor de Ca^{2+} , e diminuiu o teor de Al^{3+} , na camada de até 20 cm do solo (CASSIOLATO et al., 2000). Resultados semelhantes foram verificados por Pádua et al. (2006),

principalmente nas amostras de solo com maior teor de matéria orgânica, mas os efeitos da calagem não se estenderam à camada subsuperficial. Alguns autores, entretanto, não constataram benefícios à ação da calagem superficial, com resíduos vegetais mantidos na superfície do solo (CAIRES et al., 2006).

2.3 EFEITOS RESIDUAIS DOS MANEJOS DA CORREÇÃO DO SOLO NO DESEMPENHO DA CONSORCIAÇÃO MILHO – BRAQUIÁRIA

A integração lavoura-pecuária, técnica promissora para renovação de pastagens degradadas apresenta como uma de suas principais características a consorciação de culturas, das quais uma forrageira para formação do pasto e uma cultura produtora de grãos, que pode ajudar a pagar os custos da renovação da pastagem. A *Brachiaria brizantha* desperta grande interesse nesta renovação porque, além de suas qualidades como forrageira, favorece a recuperação do solo degradado (LUNARDI NETO, et al., 2008).

A consorciação da braquiária com o milho reduz o rendimento da forrageira, em relação ao monocultivo, nos mais variados arranjos de semeadura (FREITAS et al., 2005; JAKELAITIS et al., 2005; LEONEL et al., 2009), isso apenas na fase inicial do pasto. Essa diminuição do crescimento inicial da forrageira é desejável, podendo haver a necessidade ou não do uso de herbicidas em subdoses para reduzir o crescimento da forrageira e, com isso, garantir maiores rendimentos do milho (JAKELAITIS et al., 2005).

Apesar de tolerante à acidez do solo, vários trabalhos têm demonstrado que a braquiária pode responder positivamente à calagem e que a incorporação do calcário e a aplicação de gesso melhoram a resposta da forrageira à calagem (PASSOS et al., 1997; ROSSI et al., 1997; LIMA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2007; SOUZA et al., 2010). Com a calagem, os teores de Mg e de P na parte aérea da forrageira foram aumentados, mas o teor de Ca não foi alterado (FAQUIN et al., 1997; SOUZA et al., 2010).

2.4 EFEITOS RESIDUAIS DOS MANEJOS DA CORREÇÃO DO SOLO E DA CONSORCIAÇÃO MILHO-BRAQUIÁRIA SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Depois da correção inicial do solo, feita no ano de implantação do sistema de integração lavoura-pecuária, existe a necessidade de se definir estratégias para

correções adicionais do solo. Isto porque os efeitos residuais da correção inicial variam em função do tempo, com a estratégia inicial adotada na correção e com outros fatores inclusive, edáficos e climáticos.

As doses mais elevadas de calcário aumentam o efeito residual da calagem, independentemente da forma de aplicação (KAMINSKI et al., 2005). Com o decorrer do tempo, a influência da calagem alcança profundidades maiores quando o calcário é incorporado (ALLEONI et al., 2005) ou aplicado superficialmente (CAIRES et al., 2003). Entretanto, alguns autores verificaram que a aplicação superficial de calcário neutraliza totalmente o alumínio trocável apenas até os 6,0 cm de profundidade, mesmo após 84 meses da aplicação da dose recomendada para elevar o pH do solo a 6,0 (GATIBONI et al., 2003).

A aplicação parcelada do calcário exerceu menos efeito sobre os atributos químicos do solo, comparada a aplicação em dose única, com o decorrer do tempo (CAIRES et al., 2003). Entretanto, Caires et al. (2004) verificaram que, após 46 meses, a calagem proporcionou aumentos no pH em CaCl_2 e nos teores de Ca e Mg trocáveis, bem como redução nos teores de H + Al do solo, na camada de 0-5 cm, principalmente quando o calcário foi aplicado em superfície, em dose total ou parcelada.

Os efeitos da calagem sobre o pH do solo, na presença do gesso agrícola, aos três meses após a adição, chegaram a 10 cm e, aos 6 meses a 20 cm. No entanto, aos 12 meses após a aplicação dos produtos os efeitos foram observados apenas nas camadas de 0-5 e de 20-40 cm e, aos 18 meses, apenas até a camada de 5-10 cm (SORATTO e CRUSCIOL, 2008).

O calcário aplicado na superfície do solo, em área com pastejo de bovinos (para fornecer resíduos orgânicos) teve efeito máximo na correção do solo aos 24 meses. Depois, esse efeito tendeu a regredir, porém mantendo níveis de acidez inferiores à condição inicial sem calagem (FLORES et al., 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 em uma área de pastagem degradada com remanescentes de *Brachiaria decumbens*, *Melinis minutiflora* (capim gordura) e elevada incidência de plantas espontâneas,

localizada no terço superior de uma encosta no município de Cajuri, na Zona da Mata de Minas Gerais (20° 46' 43" S 42° 47' 51" O). A altitude da área experimental é da ordem de 700 m e o solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, argiloso que apresentou pH em água 4,6, 0,5 mg dm⁻³ de P e 12 mg dm⁻³ de K (ambos extraídos em Mehlich-1), 0,24 cmol_c dm⁻¹ de Ca²⁺, 0,16 cmol_c dm⁻¹ de Mg²⁺, 1,62 cmol_c dm⁻¹ de Al³⁺(extraídos em KCl 1 mol L⁻¹), 13,1 cmol_c dm⁻¹ de H+Al (extraído em AcOCa 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0), 6,0 dag kg⁻¹ de matéria orgânica (Walkley-Black), 13 mg L⁻¹ de P rem, 3 % de saturação por bases, 80 % de saturação por alumínio, 58,9 e 33 % de argila, silte e areia, respectivamente. O clima da região é Cwa, isto é, subtropical húmido com inverno seco e verão quente, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Geiger, 1961), com temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1.200 mm. Dados de precipitação pluvial e da temperatura máxima e mínima do ar durante os dois períodos experimentais são apresentados nas figuras 1 e 2, respectivamente.

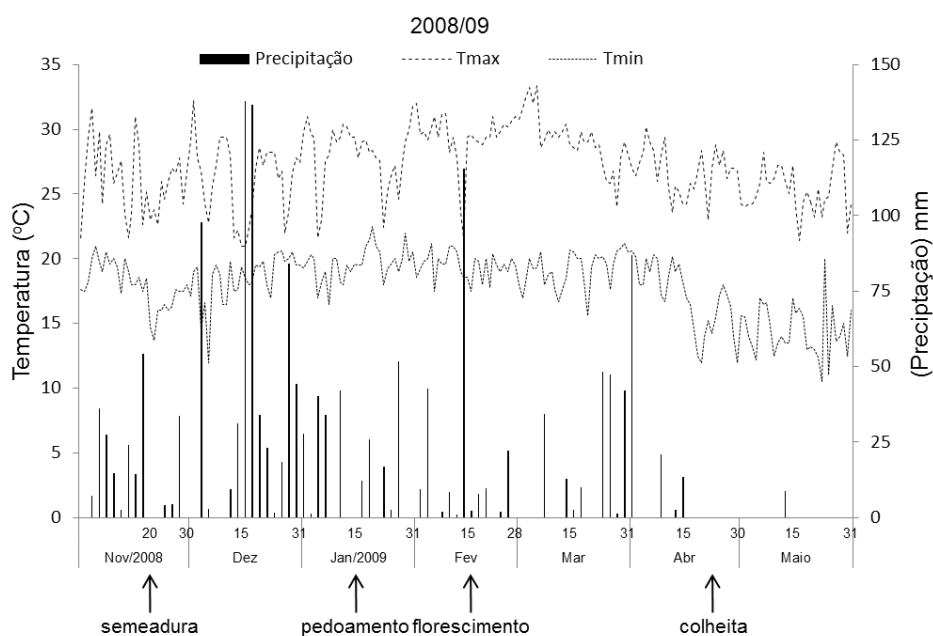


Figura 1- Dados de precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima do ar em Cajuri-MG durante o ano experimental 2008/2009.

Foram avaliados os fatores dose de calcário, época de aplicação do calcário, forma de aplicação do calcário, cobertura morta, gesso agrícola e cultura. Os níveis destes fatores foram combinados em 16 tratamentos, de acordo com a estrutura de uma matriz Baconiana (Tabela 1). A necessidade de calcário (NC) foi de 7,0 t ha⁻¹ de calcário PRNT 100 %, estimada para neutralizar o Al³⁺, considerando a saturação

alúminio crítica (m_t) 15 % e elevar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} a $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ foi calculada por meio da fórmula $\text{NC} = 3[(\text{Al}^{3+} - m_t)/100] + [2 - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]$, onde t é a CTC efetiva (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). As doses de calcário corresponderam a 0, 0,25, 0,5, 1,5 e 2,0 vezes a NC. Foi utilizado um calcário dolomítico com PRNT de 105 % e com 31,4 % de CaCO_3 e 5,2 % de MgCO_3 .

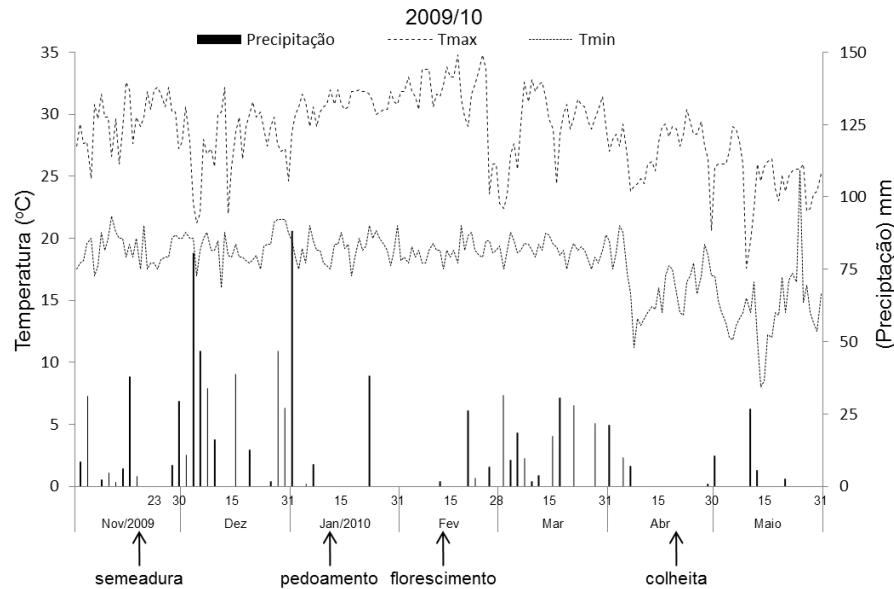


Figura 2- Dados de precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima do ar em Cajuri-MG durante o ano experimental 2009/2010.

Inicialmente a vegetação da area experimental foi roçada e após a rebrotação a vegetação foi dessecada com pulverização da mistura 5 L ha^{-1} de glyphosate e $0,8 \text{ L ha}^{-1}$ de 2,4-D. O calcário foi aplicado manualmente após a dessecação e 30 dias antes do plantio de acordo com as particularidade de cada tratamento. No tratamento sete (Tabela 1) o calcário foi aplicado após a dessecação da vegetação no primeiro ano (2008/09), mas o plantio do milho e da braquiária ocorreu apenas no ano seguinte (2009/10), após nova dessecação da vegetação. O mesmo procedimento ocorreu com os tratamentos oito e nove, em que se aplicaram $3,5$ e $7,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário no primeiro (2008/09) e no segundo (2009/10) ano, respectivamente. No tratamento 10 a cobertura vegetal dessecada foi removida antes da aplicação do calcário. No tratamento 11 a dose de $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso agrícola (20 % de Ca) foi aplicada 15 dias após a aplicação do calcário. Nos tratamentos 12, 15 e 16 o calcário foi incorporado ao solo por meio da aração a 20 cm de profundidade com arado de disco, seguida de uma passada de grade de disco.

As parcelas de 64 m² foram compostas de oito linhas de plantio de milho e braquiária *Brachiaria brizantha* cv. Marandú com 10 m de comprimento e espaçadas de 0,8 m. A área útil (38,4 m²) correspondeu às seis linhas centrais, eliminando-se um metro de cada extremidade. No segundo ano as parcelas foram divididas ao meio no sentido do comprimento, exceto aquelas que continham os tratamentos T7, T8 e T9 que previam o plantio do milho e a braquiária no segundo ano (Tabela 1) e aquelas dos tratamentos T13 e T14 que continham milho e braquiária em cultivo exclusivo, respectivamente. Em das subparcelas o milho mais a braquiária foram plantados novamente após a dessecação da forrageira, sendo que as subparcelas foram compostas por quatro linhas de plantio e a área útil (19,2 m²) correspondeu as duas linhas centrais eliminando-se um metro de cada extremidade. Na outra metade manteve-se a braquiária semeada no primeiro ano.

No primeiro ano o milho e a braquiária foram semeados em 20/11/2008 e no segundo ano foi em 23/11/2009. Nos dois anos a *Brachiaria brizantha* cv. Marandú (B) foi semeada com a taxa de 5 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis (valor cultural de 76 %). O plantio ocorreu 30 dias após a aplicação do calcário. Nos dois anos utilizou-se o híbrido simples de milho DKB 390 (M) com a população uniformizada em 70 mil plantas por hectare. As semeaduras do milho e da braquiária foram realizadas simultaneamente utilizando-se semeadora-adubadora de plantio direto (Semeato SHM-1113) nos dois anos agrícolas. O semeio do milho mais braquiária no segundo ano ocorreu após a dessecação da braquiária remanescente do primeiro com a aplicação de 5 L ha⁻¹ de glifosate e 0,8 L ha⁻¹ de 2,4-D. Nas parcelas dos tratamentos 7, 8 e 9 aplicou-se o restante da dose de calcário (Tabela 1). Nas subparcelas em que se manteve a braquiária a forrageira foi roçada a 10 cm acima do solo para uniformizar a altura. Nos dois anos o milho foi adubado com Na adubação de plantio utilizou-se 500 kg ha⁻¹ da formulação 8-24-12 + 0,4% de zinco + 0,2% de boro, por ocasião da semeadura. Para adubação em cobertura, aplicou-se 500 kg ha⁻¹ da formulação 30-0-10, dividida em duas parcelas: a primeira 30 dias após a semeadura e outra quando o milho atingiu o estágio vegetativo V4. Foi aplicada a mistura dos herbicidas atrazine (1,5 kg ha⁻¹) e nicosulfuron (8 g ha⁻¹) 30 dias após a semeadura, ocasião em que as plantas de braquiária apresentavam duas a três folhas, visando à redução do crescimento inicial da forrageira.

Tabela 1. Tratamentos resultantes da combinação de doses de calcário, época e forma de aplicação do calcário, manutenção ou não da cobertura morta, aplicação ou não de gesso agrícola e o plantio simultâneo de híbrido simples (DKB 390) de milho (M) e *Brachiaria brizantha* cv. Marandú (B), compondo um fatorial incompleto de acordo com a estrutura de uma matriz Baconiana.

| Tratamento | Dose de calcário ¹ (t ha ⁻¹) | Época de aplicação do calcário | Forma de aplicação do calcário | Cobertura Morta | Gesso Agrícola (t ha ⁻¹) | Plantio | |
|----------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------|------------------|---|--------------------|---------------------|
| | | | | | | 1º ano | 2º ano ⁷ |
| 1 | 0,00 | 1º ano 30 dap ² | Superficial | Com | 0 | M+B | M+B |
| 2 | 1,75 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | M+B | M+B |
| 3 | 3,50 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | M+B | M+B |
| 4³ | 7,00 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | M+B | M+B |
| 5 | 10,50 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | M+B | M+B |
| 6 | 14,00 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | M+B | M+B |
| 7 | 7,00 | 1º ano | Superficial | Com | 0 | Pasto ⁴ | M+B |
| 8 | 7,00 | ½ no 1º ano + ½ no 2º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | Pasto ⁴ | M+B |
| 9 | 14,00 | ½ no 1º ano + ½ no 2º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | Pasto ⁴ | M+B |
| 10 | 7,00 | 1º ano 30 dap | Superficial | Sem ⁵ | 0 | M+B | M+B |
| 11 | 7,00 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 1 | M+B | M+B |
| 12 | 7,00 | 1º ano 30 dap | Incorporado ⁶ | Com | 0 | M+B | M+B |
| 13 ⁶ | 7,00 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | M | M |
| 14 ⁷ | 7,00 | 1º ano 30 dap | Superficial | Com | 0 | B | Bq |
| 15 | 1,75 | 1º ano 30 dap | Incorporado | Com | 0 | M+B | M+B |
| 16 | 3,50 | 1º ano 30 dap | Incorporado | Com | 0 | M+B | M+B |

¹ Calcário PRNT 104,8 %, para neutralizar Al³⁺ e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ para 2 cmol_c dm⁻³

² Dias antes do plantio

³ Corresponde ao tratamento central da matriz Baconiana

⁴ Pasto degradado na condição inicial do experimento.

⁵ Vegetação dessecada foi removida

⁶ A 20 cm por meio de uma passada de arado de disco e uma de grade.

⁷ No segundo ano, em metade das parcelas manteve-se a braquiária semeada no primeiro ano e na outra metade ressemeou-se o milho mais a braquiária

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições. No segundo ano os tratamentos em que se manteve a braquiária foram considerados um experimento independente.

No primeiro período experimental, por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento) coletou-se a folha oposta e abaixo da espiga superior de três plantas de milho. Para estimar a produtividade de grãos de milho colheram-se as espigas de plantas em 12 metros lineares da área útil das parcelas e foi expressa para grãos com 13 % de umidade.

Para estimar a produção de biomassa da braquiária nos dois anos experimentais cortou-se rente ao solo a braquiária contida em um metro linear por parcela. Pesou-se o material colhido e retirou-se uma amostra (\pm 250 g), que foi pesada e seca em

estufa com circulação forçada de ar (70° C por 48 h) após o que foi novamente pesada. Foi calculado o teor de matéria seca que foi utilizado para expressar a produtividade de forragem em base a matéria seca.

Nas subparcelas em que permaneceu a braquiária proveniente do primeiro ano agrícola foram realizados quatro cortes da forragem a 15 cm de altura em intervalos de 30 dias, sendo o primeiro 30 dias após o corte de uniformização. Conforme descrito anteriormene foram obtidas subamostras para estimar o teor de matéria seca da forragem. Após cada corte de avaliação era efetuado corte de uniformização com roçadeira a 15 cm do nível do solo, removendo-se a forragem cortada.

O material vegetal do milho (primeiro ano) e da braquiária (segundo ano) foram moídos (< 1mm) e submetidas à análise química para quantificar os teores de N, P, K, Ca e Mg. O N foi determinado por destilação Kjeldahl, após digestão sulfúrica do material vegetal (TEDESCO et al., 1995). O material vegetal foi submetido à digestão nitro-perclórica para determinação dos teores de P por colorimetria (BRAGA e DEFELIPO, 1974), de K por espectrometria e emissão de chama e de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (TEDESCO et al., 1995).

Em junho de 2009 de 2010, a aproximadamente oito e vinte meses após a aplicação do calcário em 2008 e oito meses após a aplicação do calcário em 2009 (tratamentos T8 e T9) foram coletadas amostras do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Foram coletadas amostras compostas de cinco amostras para cada profundidade por parcela. As amostras de solo foram analisadas quimicamente para determinação do pH em água (relação solo:água 1:10), dos teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} e acidez trocável (Al^{3+}) extraídos em KCl 1 mol L^{-1} (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância de acordo com o delineamento em blocos ao acaso. Para os dados de pH, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al inerentes às cinco camadas de solo a análise de variância foi de acordo com um desenho experimental em faixa, considerando que as camadas de solo não se distribuem ao acaso (GOMES, 2009). Os efeitos das doses de calcário na produtividade, nos teores de nutrientes no do milho e braquiária, bem como atributos químicos do solo foram avaliados por meio da análise de regressão, em que as equações de regressões foram selecionadas pela significância dos coeficientes das equações de regressão, de acordo com o teste t a 5 % de probabilidade e pela

magnitude do coeficiente de determinação (R^2). Os efeitos das formas de aplicação do calcário, da cobertura do solo, da aplicação do gesso e dos sistemas de cultivo foram avaliados por meio de contrastes ortogonais de acordo com o nível de significância de 5 % de probabilidade pelo teste F.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANO-1

O aumento da dose de calcário aplicada determinou aumentos nas concentrações, nas folhas do milho, de nitrogênio (Figura 3), fósforo (Figura 4), potássio (Figura 5), cálcio (Figura 6) e magnésio (Figura 7), o que foi observado também por outros autores (TISSI et al., 2004). Pauletti et al. (2010) também verificaram melhoria no estado nutricional do milho, com o aumento da dose de calcário, constatando ainda superioridade da cultivar tolerante, em relação a uma não tolerante. O aumento da dose de calcário beneficia o ambiente para as raízes, aumenta o crescimento e a disponibilidade de nutrientes para as culturas. Isto deve se refletir no aumento das concentrações desses nutrientes na parte aérea das plantas.

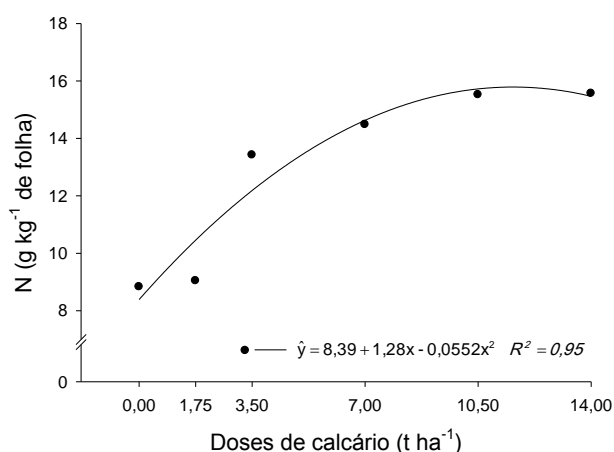


Figura 3- Nitrogênio na folha do milho, em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo.

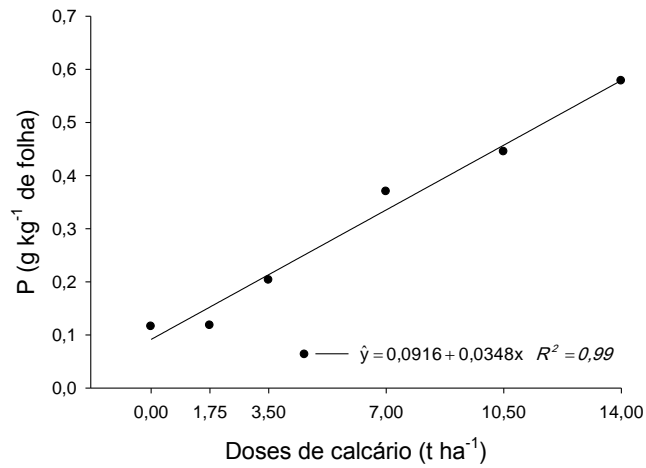


Figura 4- Fósforo na folha do milho, em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo.

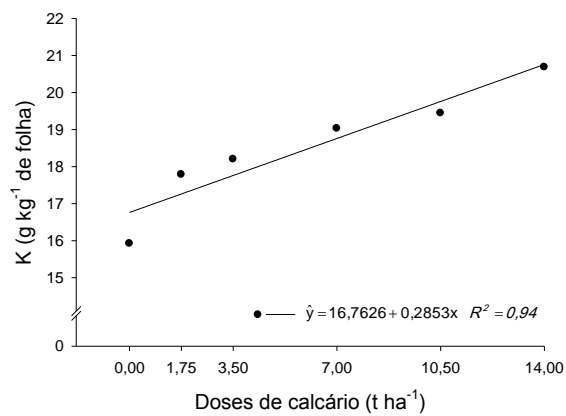


Figura 5- Potássio na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo.

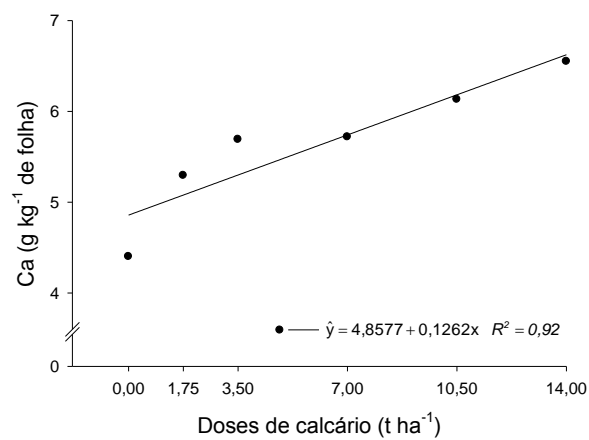


Figura 6- Cálcio na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo.

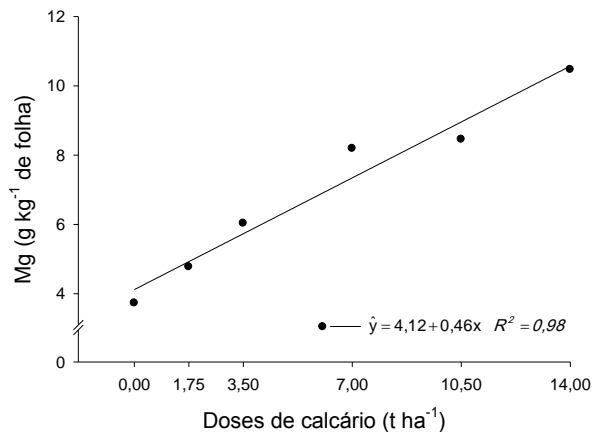


Figura 7- Magnésio na folha do milho em consorciação com a braquiária, em resposta a doses de calcário aplicadas ao solo.

Não houve efeitos da incorporação do calcário, nas três doses avaliadas sobre a concentração de nutrientes na folha do milho, à exceção do teor de fósforo que foi aumentado com a incorporação do calcário, aplicado nas doses de 1,75 t ha⁻¹ e 3,50 t ha⁻¹ (Tabela 2). Caires et al (2004) verificaram que a aplicação do calcário, na superfície do solo ou com incorporação, não alterou os teores foliares de N, P, K e Ca, mas proporcionou acréscimos na concentração de Mg nas folhas do milho. A aplicação de gesso, também não alterou os teores dos nutrientes da folha do milho (Tabela 2), embora Caires et al. (2004) tenham verificado aumentos lineares ou quadráticos nas concentrações de N, K, Ca e Mg nas folhas do milho, com aumento na dose de gesso aplicada. Também não houve efeito da manutenção da vegetação natural e da consorciação com a braquiária na concentração dos nutrientes na folha do milho (Tabela 2). Segundo Cruz et al. (2008), a *Brachiaria decumbens* não interferiu na nutrição do milho. A ausência de efeito da aplicação de gesso e da forma de aplicação de calcário, assim como da manutenção da cobertura vegetal e da consorciação em combinação com a aplicação de 7,0 t ha⁻¹ de calcário, sobre o estado nutricional do milho, talvez esteja associada ao pequeno período de tempo decorrido entre a aplicação destes tratamentos e a avaliação da nutrição da cultura. Alguns autores verificaram efeitos positivos da calagem e da gessagem na nutrição do milho, mas depois de decorridos quase três anos depois da aplicação dos corretivos (CAIRES et al., 2004). É possível também que a degradação muito acentuada da área experimental seja responsável pela ausência de resposta do milho, em termos nutricionais, às estratégias de correção do solo.

Tabela 2- Efeitos da incorporação de doses de calcário, aplicação de gesso, manutenção da vegetação natural e da consorciação com braquiária sobre a concentração de nutrientes na folha da cv. de milho DKB 390.¹

| Dose de calcário (t ha ⁻¹) | Tratamentos | Contrastes | g kg ⁻¹ de folha | | | | |
|--|---------------------------------|------------|-----------------------------|---------|---------|--------|---------|
| | | | N | P | K | Ca | Mg |
| 1,75 | Incorporação de calcário | sem | 9,04 a | 0,12 b | 17,78 a | 5,29 a | 4,78 a |
| | | com | 9,54 a | 0,62 a | 18,28 a | 5,79 a | 5,28 a |
| 3,50 | Incorporação de calcário | sem | 13,42 a | 0,20 b | 18,20 a | 5,69 a | 6,03 a |
| | | com | 13,92 a | 0,70 a | 18,70 a | 6,19 a | 6,53 a |
| 7,00 ² | Incorporação de calcário | sem | 14,48 a | 0,37 a | 19,03 a | 5,72 a | 8,19 a |
| | | com | 14,94 a | 0,24 a | 22,13 a | 7,62 a | 5,33 a |
| | Aplicação de gesso | sem | 14,48 a | 0,37 a | 19,03 a | 5,72 a | 8,19 a |
| | | com | 11,80 a | 0,42 a | 18,61 a | 7,61 a | 10,99 a |
| | Manutenção da vegetação natural | sem | 10,50 a | 0,14 a | 15,92 a | 6,73 a | 9,66 a |
| | | com | 14,48 a | 0,37 a | 19,03 a | 5,72 a | 8,19 a |
| Conсорciação | Sem | 12,47 a | 0,24 a | 14,26 a | 5,71 a | 7,29 a | |
| | Com | 14,48 a | 0,37 a | 19,03 a | 5,72 a | 8,19 a | |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário usada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15 % e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. e Ribeiro, 1999).

O aumento da dose de calcário aplicada ao solo aumentou linearmente o rendimento de grãos do milho, mas reduziu linearmente o rendimento de matéria seca da parte aérea da braquiária, no cultivo consorciado (Figura 8), isso mais em função do sombreamento do milho sobre a forrageira. A precipitação pluvial relativamente uniforme deve ter favorecido os efeitos do calcário (Figura 1). Sem a aplicação de calcário, a braquiária apresentou o maior rendimento de matéria seca e o milho, o menor rendimento de grãos, confirmando que a braquiária é mais tolerante à acidez do solo do que o milho. Segundo Leite et al. (2006), à medida que doses crescentes de calcário foram aplicadas ao solo, melhores condições foram proporcionadas às raízes do milho, que devem ter apresentado maior crescimento da parte aérea do milho (ANDREOTTI et al., 2001). Os maiores crescimentos das raízes e da parte aérea do milho proporcionaram a eles melhores condições de competição com a braquiária, tanto abaixo como acima da superfície do solo, reduzindo a biomassa seca da parte aérea da braquiária. Portes et al. (2000) verificaram que a presença do milho, na consorciação com *Brachiaria brizantha*, reduziu o número de perfilhos, o índice de área foliar, as massas secas das folhas verdes, da parte aérea e dos colmos e a taxa de crescimento da forrageira. O aumento linear do rendimento do milho acima de 7,0 t de calcário ha⁻¹ sugere que acréscimos adicionais no rendimento

poderiam ser obtidos com doses maiores de calcário do que as adotadas no presente trabalho.

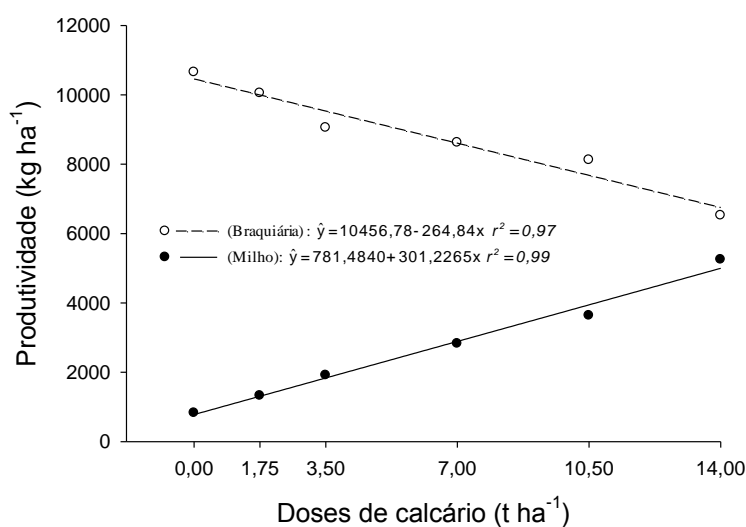


Figura 8- Produtividade de grãos de milho e de biomassa seca da parte aérea da braquiária, cultivadas em consorciação, em resposta ao aumento das doses de calcário aplicadas ao solo.

Aumentos do crescimento e do rendimento do milho em função de maiores doses de calcário, como os encontrados no presente trabalho, foram observadas por outros autores (ANDREOTTI et al., 2001; CAIRES et al., 2004; PAULETTI et al., 2010). Embora se discuta a melhoria do rendimento do milho em termos de melhoria nas propriedades químicas do solo, foi verificado que aplicações de calcário e gesso também melhoram as propriedades físicas do solo e biológicas (GREGO et al., 2000; BONINI e ALVES, 2011a; BONINI e ALVES, 2011b).

Não houve efeitos da incorporação do calcário, nas três doses avaliadas, sobre o rendimento de grãos do milho (Tabela 3). Alguns autores obtiveram resultados similares aos do presente trabalho, isto é, verificaram que a calagem, embora tenha melhorado as características químicas do solo e o estado nutricional do milho, não teve reflexos sobre o rendimento de grãos dessa cultura (TISSI et al., 2004). Aliás, a calagem pode inclusive reduzir o rendimento do milho, se for feita em excesso (SINGH et al., 1987).

A aplicação de gesso também não influenciou o rendimento do milho (Tabela 3). Esta observação discorda dos resultados de Caires et al. (2004). Eles verificaram que a aplicação de gesso agrícola em combinação com a calagem determinou acréscimos de 17% no rendimento do milho. Segundo eles, o aumento do rendimento

do milho, com a aplicação de calcário e gesso, não foi ocasionado por alterações no crescimento radicular e esteve relacionado com o aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais do solo. Entretanto, os resultados de outros autores, de certa forma, concordam com os do presente trabalho. Rampim et al. (2011) verificaram que a aplicação do gesso elevou o rendimento do trigo, mas não o da soja.

No que se refere à manutenção da vegetação natural dessecada, também não se verificou efeito sobre o rendimento do milho (Tabela 3). Caires et al. (2006) verificaram que a manutenção de resíduos de aveia sobre a superfície do solo aumentou o rendimento do milho, mas não influenciou no rendimento da soja cultivada após o milho, em plantio direto.

Tabela 3- Efeitos da incorporação de doses de calcário, da aplicação de gesso, da manutenção da vegetação natural e da consorciação sobre a produtividade de grãos do híbrido simples de milho (DKB 390) e da biomassa seca da parte aérea da *Brachiaria brizantha* (cv. Marandú).¹

| Dose de calcário (t ha ⁻¹) | Tratamentos | Contrastes | Rendimento (kg ha ⁻¹) | |
|--|--|------------|-----------------------------------|------------|
| | | | Milho | Braquiária |
| 1,75 | Incorporação do calcário | sem | 1322 a | 10.046 a |
| | | com | 2560 a | 5450 b |
| 3,50 | Incorporação do calcário | sem | 1911 a | 9048 a |
| | | com | 3083 a | 9547 a |
| 7,00 ² | Incorporação do calcário | sem | 2824 a | 8621 b |
| | | com | 3189 a | 10.081 a |
| | Aplicação de 1,0 t ha ⁻¹ de gesso | sem | 2824 a | 8621 a |
| | | com | 3926 a | 8799 a |
| | Manutenção da vegetação natural | sem | 1572 a | 4667 b |
| | | com | 2824 a | 8621 a |
| Conсорciação | sem | 2604 a | 12.539 a | |
| | com | 2824 a | 8621 b | |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário recomendada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15 % e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. e Ribeiro, 1999).

O rendimento de grãos do milho em consorciação com a braquiária foi similar ao obtido em monocultivo (Tabela 3), o que foi observado também por outros autores (JAKELAITIS et al., 2005), mostrando que a subdose do herbicida nicosulfuron aplicada foi eficiente para controlar o crescimento da braquiária, de modo que essa não interferisse na produtividade do milho.

A baixa produtividade do milho, em relação às obtidas por outros autores (CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2004), mesmo com a aplicação de 7,00 t ha⁻¹

de calcário, pode estar associada ao elevado estado de degradação da área experimental (Tabela 3). O problema do baixo rendimento do milho, devido à degradação do solo, e sua recuperação com a calagem, foi bem demonstrado por Sharma e Subehia (2003). Entretanto, as perspectivas de melhoria do rendimento do milho com a calagem, no presente trabalho, são interessantes. Na ausência de calagem, o rendimento de grãos foi de aproximadamente 782,0 kg ha⁻¹ (Figura 8), mas com a aplicação de 14,00 t de calcário ha⁻¹, de acordo com a equação ajustada, o rendimento foi quase 6,4 vezes maior (Figura 8).

As incorporações de 1,75 t ha⁻¹, 3,50 t ha⁻¹ e 7,00 t ha⁻¹ de calcário reduziram, não alteraram e aumentaram, respectivamente, o rendimento de matéria seca da braquiária, em relação às aplicações superficiais (Tabela 3). A incorporação de uma dose muito pequena pode ter diluído os efeitos do calcário, mas a aplicação de uma dose maior pode ter beneficiado maior volume de solo. Miranda et al. (2005) verificaram que o efeito do calcário dependeu do volume de solo corrigido.

A aplicação de gesso não teve efeito sobre o rendimento da braquiária (Tabela 3). Por outro lado, a manutenção da vegetação natural, após dessecação, teve efeito positivo no crescimento da braquiária (Tabela 3). Este fato é interessante porque a braquiária é uma espécie considerada tolerante à acidez do solo e, assim, não é de se esperar que a manutenção da cobertura vegetal aumente em quase 4,0 t ha⁻¹ o rendimento da forrageira (Tabela 3). É bem verdade que a manutenção da cobertura vegetal pode ter melhorado o rendimento da braquiária via melhoria das características físicas químicas e biológicas do solo (AMARAL et al., 2004) e não diretamente através da redução da acidez do solo. Este fato torna-se mais relevante ainda se for considerado que a massa vegetal sobre a superfície do solo, embora não quantificada, deve ter sido pequena, desde que a área em estudo encontrava-se degradada. Caires et al. (2006) estimaram em 4,0 t ha⁻¹ a matéria seca de aveia preta sobre a superfície do solo que foi insuficiente para proporcionar benefícios à ação da calagem superficial na correção da acidez de camadas do subsolo. Durante a decomposição de resíduos vegetais, ocorre liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que atuam como ligantes orgânicos, favorecendo o aumento de Ca e Mg e a diminuição do Al fitotóxico em profundidade (FRANCHINI et al., 2000). As reações de complexação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular que amenizam a acidez do solo foram descritas por vários autores, incluindo Hue et al. (1986) e Miyazawa et al. (2002).

A consorciação com milho teve efeito negativo sobre a biomassa seca da forrageira devido à forte competição exercida pelo milho sobre a forrageira (Tabela 3). A presença de cereais, incluindo o milho, em consorciação com a *B. brizantha* cultivar Marandu reduziu o número de perfilhos, índice de área foliar, massa seca total da parte aérea, massa seca das folhas verdes e dos colmos e taxa de crescimento da braquiária, até a colheita dos cereais (PORTES et al., 2000). A *B. decumbens* também teve seu crescimento limitado, quando cultivada em consórcio com milho (CRUZ et al., 2008).

O incremento na dose de calcário aumentou o pH (Figura 9) e os teores de Ca^{2+} (Figura 10) e Mg^{2+} (Figura 11), e reduziu o Al^{3+} (Figura 12) e $\text{H} + \text{Al}$ (Figura 13) nas camadas de solo avaliadas. Os aumentos do pH e dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram lineares em todas as camadas. Os acréscimos, por unidade de dose de calcário aplicado, diminuíram da camada de solo mais superficial (0-5 cm) para a camada mais profunda (30-40 cm). O decréscimo no teor de Al^{3+} foi linear em todas as camadas, à exceção da camada de solo de 0-5 cm, em que uma equação exponencial descreveu melhor a sua variação em função das doses de calcário aplicadas. O decréscimo na acidez potencial foi linear, em todas as camadas de solo. Os decréscimos do teor de alumínio trocável e da acidez potencial, por unidade de calcário aplicado, diminuíram da camada de solo mais superficial para a camada mais profunda.

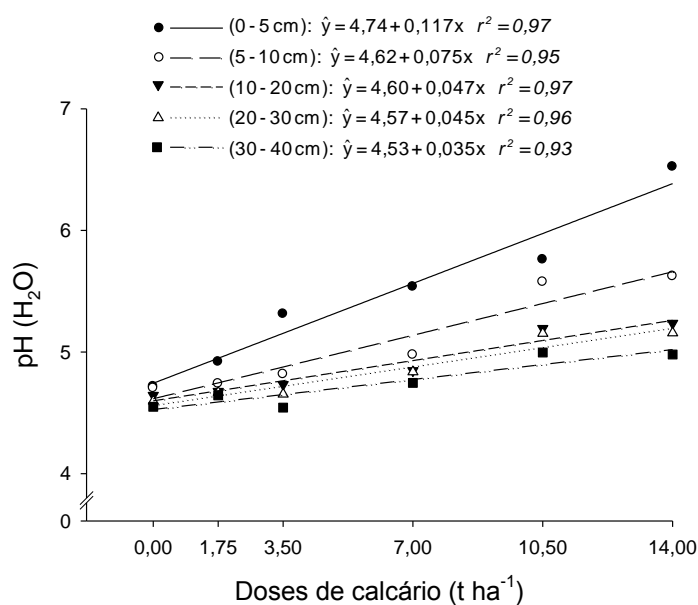


Figura 9- pH (H_2O) nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio.

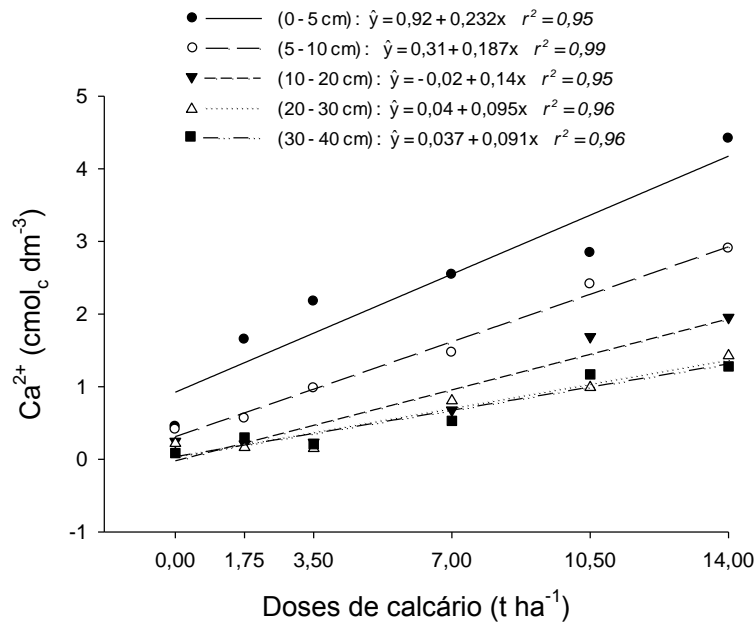


Figura 10- Cálcio trocável nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio.

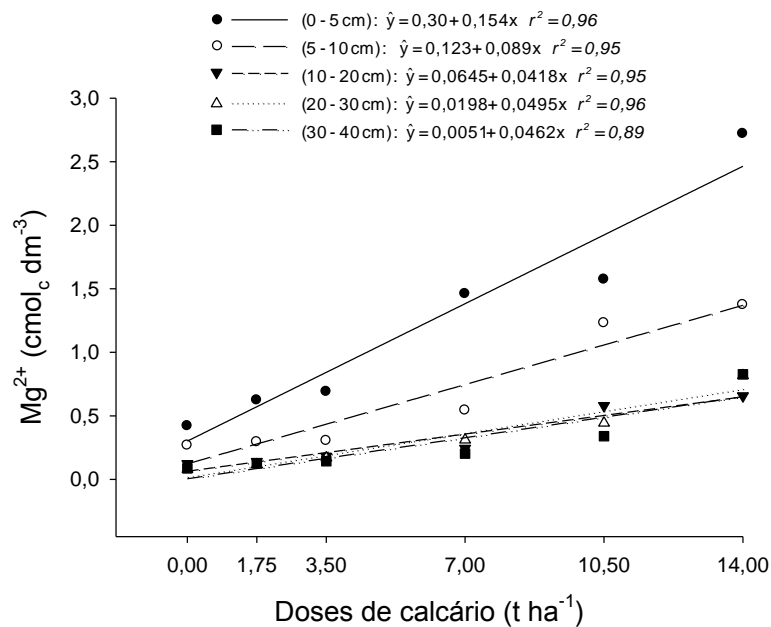


Figura 11- Magnésio trocável nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio.

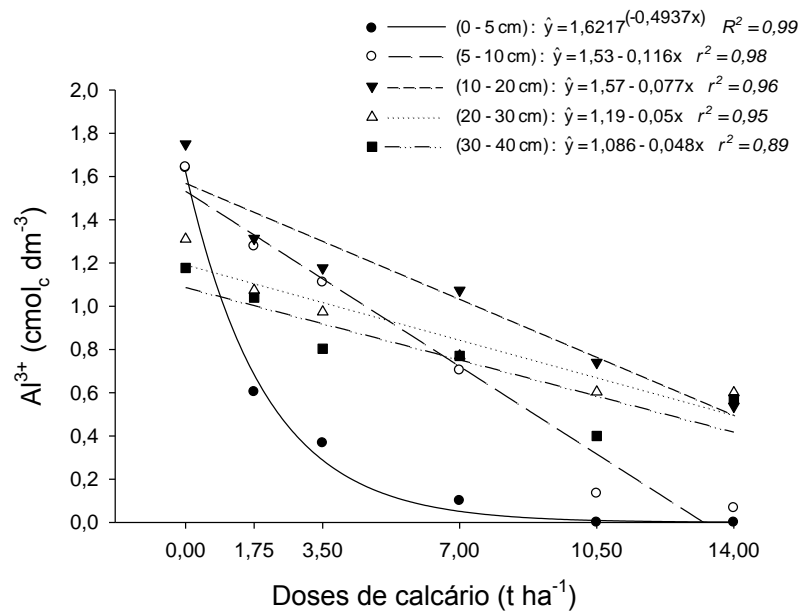


Figura 12- Acidez trocável (Al^{3+}) nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio.

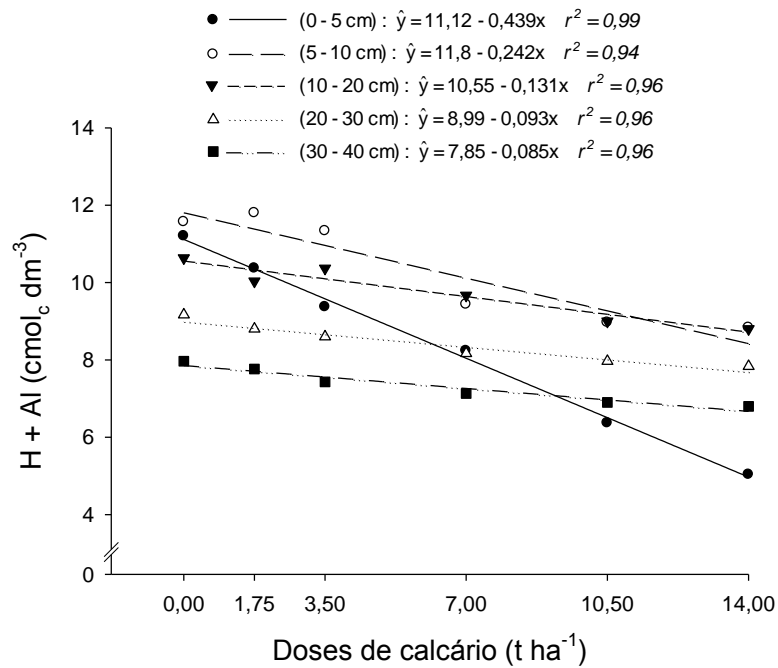


Figura 13- Acidez potencial (H + Al) nas camadas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico em função da dose de calcário aplicada, cultivado com milho e braquiária em consórcio.

O calcário, quando misturado ao solo e com água, dissolve-se, e o carbonato de cálcio dissocia-se (QUAGGIO, 2000). Os produtos da dissolução do calcário reagem no solo e elevam o pH os teores de Ca e Mg e a saturação por bases, e diminuem os teores de Al e Mn no solo (SORATTO e CRUSCIOL, 2008). A ação do calcário na neutralização da acidez dos subsolos é dificultada pelo aumento da retenção de cátions em decorrência da geração de cargas elétricas variáveis negativas com a elevação do pH do solo. Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, também são consumidos nas reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) na camada de deposição do calcário. No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, movimenta-se para reagir com a acidez (CAIRES et al., 2003). A formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para as camadas mais profundas do solo constituem a hipótese que melhor justifica a diminuição da acidez no subsolo pela calagem na superfície, no plantio direto (COSTA, 2000).

Caires et al. (2003) ressaltaram que o deslocamento mecânico de partículas de calcário através de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (OLIVEIRA e PAVAN, 1996), ou de galerias de organismos do solo e de macrocanais biológicos (RHEINHEIMER et al., 2000) podem influenciar a eficiência da calagem na correção da acidez do subsolo. Além disso, a formação de complexos orgânicos solúveis por meio de resíduos vegetais (OLIVEIRA e PAVAN, 1996) também podem influenciar essa eficiência.

Os resultados quanto à eficiência da calagem na neutralização da acidez de subsolos são discordantes na literatura. Alguns autores verificaram que o calcário não se movimenta para camadas mais profundas do solo (PAVAN et al., 1984), enquanto outros mostraram consideráveis aumentos no pH abaixo da região de aplicação do calcário, em áreas de cultivos anuais, preparadas convencionalmente (OLIVEIRA et al., 1997) ou com plantio direto (CAIRES et al., 2000). Efeitos similares da calagem sobre os atributos químicos do solo, constatados no presente trabalho, foram observados por Marcelo et al. (2012), inclusive no que se refere ao tipo de equação ajustado.

Os efeitos da incorporação do calcário se tornaram mais evidentes com o aumento da dose aplicada (Tabela 4). Isto é, quando apenas 1,75 t de calcário ha^{-1}

foram utilizadas, houve diferença entre as aplicações superficial e incorporada do calcário, com vantagem para a aplicação incorporada, apenas quanto ao pH, e isto ocorreu somente na camada de 0-5 cm. Com a aplicação de 3,50 t de calcário ha⁻¹ houve diferença somente quanto ao teor de Mg²⁺ (com superioridade da aplicação superficial), e isto ocorreu somente na camada de 0-5 cm (Tabela 4). Entretanto, com a aplicação de 7,00 t de calcário ha⁻¹, houve diferenças entre os dois métodos de aplicação do calcário quanto a todas as características avaliadas, na camada de 0-5 cm, exceto quanto ao teor de Al³⁺. Além disso, em três das seis características analisadas, houve diferenças entre os dois métodos de aplicação, na camada de 5-10 cm (Tabela 4). Em geral, a incorporação do calcário foi mais benéfica que a aplicação superficial, para o pH e teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, mas em termos de Al + H, a incorporação somente se mostrou vantajosa com a aplicação de 7,00 t ha⁻¹. Não houve efeito da incorporação do calcário em nenhuma das camadas avaliadas para teor de Al³⁺. A incorporação do calcário o coloca mecânicamente em maiores profundidades. A incorporação intensifica o aumento do pH em camadas mais profundas do solo, o que pode acelerar a velocidade com que o HCO₃⁻, acompanhado por Ca e Mg, movimentam-se para reagir com a acidez. Finalmente, com a incorporação do calcário são incorporados também resíduos vegetais que propiciariam a formação de complexos orgânicos solúveis.

Os efeitos da incorporação do calcário observados no presente trabalho (Tabela 4) foram similares aos observados por outros autores (ALLEONI et al., 2005; KAMINSKI et al., 2005). KAMINSKI et al. (2005) verificaram que a incorporação do calcário neutralizou a acidez em camadas do solo mais profundas e foi mais efetiva que a aplicação superficial. GATIBONI et al. (2003) e RHEINHEIMER et al. (2000) verificaram ainda que, com o aumento da dose de calcário aplicada, a correção da acidez em profundidade é maior.

Tabela 4- Características químicas do solo, em diferentes camadas, após cultivo com milho em consorciação com braquiária, que recebeu doses de calcário com ou sem incorporação.¹

| Doses de calcário (t ha ⁻¹) | Incorporação do calcário | Característica | Camadas do solo (cm) | | | | |
|--|--------------------------|--|----------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| 1,75 | sem | pH (H ₂ O) | 4,64 b | 4,64 a | 4,74 a | 4,67 a | 4,68 a |
| | com | | 5,03 a | 4,74 a | 4,71 a | 4,64 a | 4,60 a |
| | sem | Ca (cmol _c dm ⁻³) | 1,65 a | 0,56 a | 0,21 a | 0,16 a | 0,30 a |
| | com | | 1,99 a | 1,00 a | 0,28 a | 0,13 a | 0,09 a |
| | sem | Mg (cmol _c dm ⁻³) | 0,62 a | 0,27 a | 0,14 a | 0,12 a | 0,14 a |
| | com | | 0,78 a | 0,43 a | 0,17 a | 0,12 a | 0,10 a |
| | sem | Al (cmol _c dm ⁻³) | 0,60 a | 1,28 a | 0,80 a | 1,07 a | 1,31 a |
| | com | | 0,77 a | 1,11 a | 0,67 a | 1,14 a | 1,38 a |
| | sem | H+Al (cmol _c dm ⁻³) | 10,37 a | 11,80 a | 10,03 a | 8,80 a | 7,13 a |
| | com | | 10,47 a | 11,93 a | 10,43 a | 8,23 a | 7,10 a |
| 3,50 | sem | pH (H ₂ O) | 4,92 a | 4,98 a | 4,84 a | 4,85 a | 4,75 a |
| | com | | 5,19 a | 4,82 a | 4,67 a | 4,60 a | 4,59 a |
| | sem | Ca (cmol _c dm ⁻³) | 2,84 a | 1,47 a | 0,68 a | 0,81 a | 0,53 a |
| | com | | 2,25 a | 1,18 a | 0,37 a | 0,19 a | 0,12 a |
| | sem | Mg (cmol _c dm ⁻³) | 1,57 a | 0,54 a | 0,24 a | 0,31 a | 0,20 a |
| | com | | 0,84 b | 0,51 a | 0,22 a | 0,15 a | 0,12 a |
| | sem | Al (cmol _c dm ⁻³) | 0,10 a | 0,70 a | 0,77 a | 0,77 a | 1,18 a |
| | com | | 0,23 a | 0,90 a | 0,97 a | 1,17 a | 1,31 a |
| | sem | H+Al (cmol _c dm ⁻³) | 8,23 a | 9,43 a | 9,67 a | 8,60 a | 7,97 a |
| | com | | 9,00 a | 10,33 a | 10,73 a | 9,07 a | 7,40 a |
| 7,00 | sem | pH (H ₂ O) | 5,31 b | 4,82 b | 4,73 a | 4,65 a | 4,54 a |
| | com | | 5,84 a | 5,32 a | 4,91 a | 4,89 a | 4,90 a |
| | sem | Ca (cmol _c dm ⁻³) | 2,17 b | 0,98 a | 0,23 a | 0,15 a | 0,21 a |
| | com | | 3,80 a | 2,63 a | 1,29 a | 1,03 a | 0,86 a |
| | sem | Mg (cmol _c dm ⁻³) | 0,69 b | 0,29 b | 0,12 a | 0,08 a | 0,09 a |
| | com | | 1,49 a | 0,82 a | 0,47 a | 0,39 a | 0,36 a |
| | sem | Al (cmol _c dm ⁻³) | 0,10 a | 0,70 a | 1,00 a | 0,77 a | 0,77 a |
| | com | | 0,00 a | 0,30 a | 0,77 a | 0,94 a | 0,84 a |
| | sem | H+Al (cmol _c dm ⁻³) | 9,37 a | 11,33 a | 10,37 a | 7,97 a | 6,80 a |
| | com | | 8,23 b | 9,97 b | 11,20 a | 8,57 a | 7,83 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A aplicação do gesso em combinação com a aplicação de calcário trouxe benefícios em relação à aplicação isolada de calcário, pois aumentou o pH e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (Tabela 5). Aumento do teor de Ca²⁺ com a aplicação de gesso foi observado também por outros autores (SORATTO e CRUSCIOL, 2008; RAMPIM et al., 2011). A aplicação de gesso reduziu o teor de Mg²⁺ no solo (RAMPIM et al., 2011). A acidez trocável (Al³⁺), bem como a acidez potencial não foram influenciadas pela aplicação de gesso, nas camadas de solo avaliadas, e os efeitos da gessagem tenderam a diminuir com o aumento da profundidade do solo (Tabela 5). O gesso agrícola mostra-se mais efetivo na redução da toxidez de Al³⁺ do que o sulfato de cálcio puro por causa da presença de F⁻, um ânion que forma complexos mais estáveis com Al do que o SO₄²⁻ (CAMERON et al., 1986). O aumento do pH do solo,

por meio da aplicação de gesso, tem sido atribuído a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o SO_4^{2-} , deslocando OH^- e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez (REEVE e SUMNER, 1972).

Tabelas 5- Características químicas do solo, em diferentes camadas, após cultivo com milho consorciado com braquiária, que recebeu $7,00 \text{ t ha}^{-1}$ calcário aplicadas superficialmente, com ou sem aplicação de gesso agrícola ($1,0 \text{ t ha}^{-1}$).¹

| Característica | Gesso agrícola | Camadas do solo (cm) | | | | |
|--|----------------|----------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H_2O) | sem | 5,31 b | 4,82 b | 4,73 a | 4,65 a | 4,54 a |
| | com | 5,84 a | 5,32 a | 4,91 a | 4,89 a | 4,90 a |
| Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | sem | 2,17 b | 0,98 b | 0,23 b | 0,15 a | 0,21 a |
| | com | 3,80 a | 2,63 a | 1,29 a | 1,03 a | 0,86 a |
| Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | sem | 0,69 b | 0,29 b | 0,12 a | 0,08 a | 0,09 a |
| | com | 1,49 a | 0,82 a | 0,47 a | 0,39 a | 0,36 a |
| Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | sem | 0,10 a | 0,70 a | 1,00 a | 0,77 a | 0,77 a |
| | com | 0,00 a | 0,37 a | 0,97 a | 1,14 a | 0,87 a |
| H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | sem | 9,37 a | 11,33 a | 10,37 a | 7,97 a | 6,80 a |
| | com | 8,23 a | 9,97 a | 11,20 a | 8,57 a | 7,83 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A aplicação de calcário em área em que a vegetação foi removida, foi benéfica em relação à aplicação do calcário na área em que foi plantada (M+B) (Tabela 6). Maiores valores de pH, Ca e Mg foram verificados, sem a manutenção da vegetação, na camada de 0-5 cm. O teor de Al^{3+} e a acidez potencial não foram influenciados pela presença de vegetação (Tabela 6). Diehl et al. (2008) verificaram que vários extratos vegetais aumentaram o pH, os teores de Ca e Mg trocáveis e diminuíram a acidez potencial e o Al trocável na camada de até 15 cm de profundidade, enquanto o efeito da calagem sem extrato foi observado somente até 10 cm de profundidade. Outros autores, entretanto, verificaram que os efeitos dos resíduos vegetais, com ou sem calcário, restringiram-se à camada de 0-2,5 cm (AMARAL et al., 2004). O efeito dos resíduos vegetais sobre os atributos do solo é difícil de ser previsto porque ele depende de vários aspectos, incluindo o tipo de resíduo e o tipo de solo (XU e CHEN, 2006). Em solos mais ricos em matéria orgânica, com maior aporte de restos culturais e, ou, com adição de esterco e outros resíduos orgânicos, é comum haver movimentação do Ca para camadas mais profundas do solo além do local onde esse cátion foi aplicado. Esses resultados podem ser explicados, segundo Pádua et al.

(2006), dentre outros fatores, pela formação e maior mobilidade de sais de fulvato de Ca, em solos adubados com esterco de aves (LIU e HUE, 1996) ou pela reação de fulvato, originado de carvão, com Ca (NOBLE et al., 1995).

Tabela 6- Características químicas do solo, em diferentes camadas, após cultivo com milho em consorciação com braquiária, que recebeu 7,00 t ha⁻¹ calcário, com ou sem a manutenção da cobertura vegetal dessecada.¹

| Característica | Manutenção da cobertura vegetal | Camadas do solo (cm) | | | | |
|--|---------------------------------|----------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | com | 5,31 b | 4,82 a | 4,73 a | 4,65 a | 4,54 a |
| | sem | 5,77 a | 5,08 a | 5,01 a | 5,00 a | 4,82 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | com | 2,17 b | 0,98 a | 0,23 a | 0,15 a | 0,21 a |
| | sem | 3,72 a | 1,83 a | 0,78 a | 1,02 a | 0,87 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | com | 0,69 b | 0,29 a | 0,12 a | 0,08 a | 0,09 a |
| | sem | 1,16 a | 0,58 a | 0,28 a | 0,31 a | 0,26 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | com | 0,10 a | 0,70 a | 1,00 a | 0,77 a | 0,77 a |
| | sem | 0,03 a | 0,64 a | 0,57 a | 0,74 a | 1,14 a |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | com | 9,37 a | 11,33 a | 10,37 a | 7,97 a | 6,80 a |
| | sem | 8,80 a | 10,80 a | 9,80 a | 8,23 a | 7,07 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 7- Características químicas do solo, em diferentes camadas, que recebeu 7,00 t ha⁻¹ de calcário, em parcelas de monocultivo de braquiária e de braquiária consorciada com milho.¹

| Característica | Cultivo da braquiária | Camadas do solo (cm) | | | | |
|--|-----------------------|----------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | Consórcio | 5,31 b | 4,82 b | 4,73 a | 4,65 a | 4,54 a |
| | Monocultivo | 6,49 a | 5,28 a | 4,81 a | 4,77 a | 4,78 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 2,17 b | 0,98 a | 0,23 a | 0,15 a | 0,21 a |
| | Monocultivo | 4,01 a | 1,88 a | 0,62 a | 0,53 a | 0,58 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 0,69 b | 0,29 b | 0,12 a | 0,08 a | 0,09 a |
| | Monocultivo | 1,73 a | 0,79 a | 0,29 a | 0,21 a | 0,20 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 0,10 a | 0,70 a | 1,00 a | 0,77 a | 0,77 a |
| | Monocultivo | 0,00 a | 0,40 a | 0,84 a | 0,67 a | 0,94 a |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 9,37 a | 11,33 a | 10,37 a | 7,97 a | 6,80 a |
| | Monocultivo | 5,10 b | 8,40 b | 9,70 a | 9,33 a | 7,80 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

O solo cultivado apenas com braquiária apresentou maiores pH e teores de Ca e Mg, e menores teores de H + Al do que o solo cultivado com braquiária + milho, na camada do solo de 0-5 cm (Tabela 7). Esses efeitos também ocorreram na camada de 5-10 cm, à exceção dos efeitos relativos a Ca, que não foram afetados pelo

sistema de cultivo. Nas três camadas mais superficiais, o teor de Al não foi influenciado pelo sistema de cultivo da braquiária, mas nas outras camadas o monocultivo foi melhor (Tabela 7).

O pH no solo cultivado com milho foi maior do que o pH no solo cultivado com o consórcio milho-braquiária em todas as camadas avaliadas (Tabela 8). Fato semelhante ocorreu com o teor de cálcio menos para camada mais superficial. Com o teor de Al ocorreu o contrário, isto é, o teor de Al foi maior no consórcio do que no monocultivo, nas camadas de 5-10 cm e 10-20 cm (Tabela 8). Portanto, Os monocultivos da braquiária (Tabela 7) e do milho (Tabela 8) melhoram as propriedades químicas do solo, em relação à consorciação das duas culturas, exceto no que se refere ao teor de Al. A acidez potencial só foi influenciada na camada de 5-10 cm.

A melhoria do solo nos monocultivos poderia ter ocorrido por meio de uma maior disponibilidade de resíduos vegetais dos monocultivos. Por exemplo, a matéria seca da parte aérea da braquiária no consórcio (dados não apresentados) foi de cerca de 70% da matéria seca no monocultivo. O rendimento de grãos do milho no monocultivo não diferiu significativamente do rendimento obtido na consorciação. Entretanto, Garcia et al. (2008) verificaram que a consorciação milho-braquiária resultou em maior quantidade de palha sobre a superfície do solo. De qualquer forma, vários outros fatores devem estar envolvidos, incluindo a alcalinização que pode ocorrer com a consorciação (BETENCOURT et al., 2012).

Tabela 8- Características químicas do solo, em diferentes camadas, que recebeu 7,00 t ha⁻¹ calcário, em parcelas de monocultivo de milho e de milho consorciado com braquiária.¹

| Característica | Cultivo do milho | Camadas do solo (cm) | | | | |
|--|------------------|----------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | Consórcio | 5,31 b | 4,82 b | 4,73 b | 4,65 b | 4,54 b |
| | Monocultivo | 5,87 a | 5,59 a | 5,21 a | 5,06 a | 5,09 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 2,17 a | 0,98 b | 0,23 b | 0,15 b | 0,21 b |
| | Monocultivo | 2,81 a | 2,94 a | 1,69 a | 1,68 a | 1,68 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 0,69 a | 0,29 b | 0,12 a | 0,08 a | 0,09 a |
| | Monocultivo | 1,03 a | 0,84 a | 0,46 a | 0,33 a | 0,32 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 0,10 a | 0,70 a | 1,00 a | 0,77 a | 0,77 a |
| | Monocultivo | 0,00 a | 0,10 b | 0,30 b | 0,64 a | 0,70 a |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Consórcio | 9,37 a | 11,33 a | 10,37 a | 7,97 a | 6,80 a |
| | Monocultivo | 7,63 a | 8,77 b | 9,50 a | 7,60 a | 6,60 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

4.2 ANO-2

O aumento das doses de calcário, aplicadas 13 meses antes da semeadura do milho, aumentou linearmente a produtividade de grãos do milho (Figura 14). Portanto, o calcário apresentou efeito residual, que foi benéfico ao milho. A acidez do solo limita a produção agrícola em decorrência da toxidez causada por Al e baixa saturação de bases (COLEMAN e THOMAS, 1967). As raízes das plantas não se desenvolvem bem em solos ácidos, sobretudo por causa da toxidez de Al^{3+} e da deficiência de Ca^{2+} . A calagem eleva o pH e os teores de Ca^{2+} e saturação por bases, e reduz os teores de Al^{3+} no solo (CAIRES et al., 2004). Isto possibilita a proliferação de raízes, com reflexos positivos na parte aérea das plantas (NATALE et al., 2007). Doses maiores de calcário aumentaram a quantidade de raízes (LEITE et al., 2006), a altura da planta e a biomassa seca da parte aérea do milho (ANDREOTTI et al., 2001). Efeitos residuais positivos sobre o rendimento do milho, similares aos observados no presente trabalho, foram constatados por outros autores (SINGH et al., 1987; CAIRES et al., 2004).

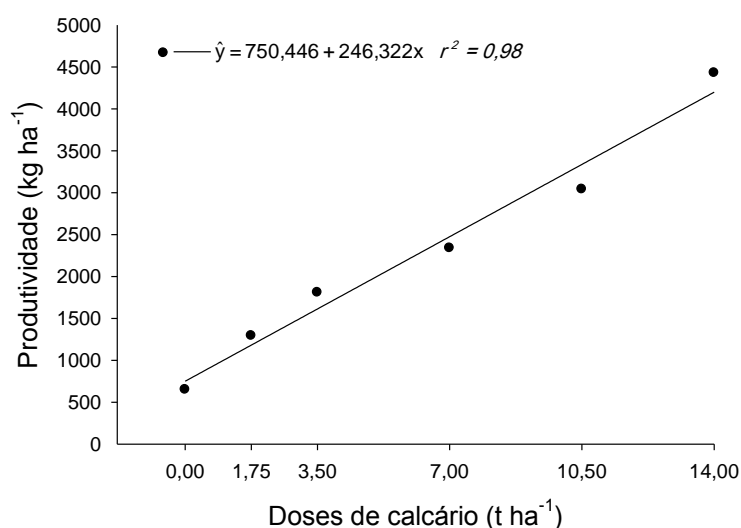


Figura 14- Produtividade de grãos do milho, na safra 2009/10, cultivado em consorciação com a braquiária, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário na safra 2008/09.

As produtividades do milho, em resposta aos tratamentos avaliados, foram relativamente baixos (Tabela 9), inclusive inferiores aos obtidos na safra anterior

(Figura 8). Isso pode ter sido devido ao veranico ocorrido nos meses de janeiro e fevereiro de 2010 (Figura 2). A incorporação do calcário ao solo determinou maior produtividade de grãos do milho do que a aplicação superficial do corretivo, feitas aos 13 meses antes da semeadura. Entretanto, isto somente ocorreu na dose 7,00 t ha⁻¹ (Tabela 21). A incorporação do calcário corrige a acidez do solo a profundidades maiores do que a aplicação superficial, especialmente com doses mais elevadas (CAIRES et al., 2004; ALLEONI et al., 2005). Isto beneficia maior proporção de raízes, o que pode resultar em maior rendimento. A incorporação do calcário proporciona maior uniformidade na neutralização do solo em profundidade o que se reflete em maior quantidade de raízes até 45 cm (LEITE et al., 2006). Resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho, no que se refere aos efeitos da incorporação do calcário sobre o rendimento do milho, foram observados por Miranda et al. (2005).

Tabela 9- Produtividade de grãos da cv. de milho DKB (M) na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de consorciação com a braquiária (M + B), cv. Marandú, em duas safras.¹

| Estratégias de aplicação do calcário | | | | Estratégias de cultivo | | Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) 2009/10 |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|------------------------|---------|---|
| Safras | | | | Safras | | |
| 2008/09 | | 2009/10 | | 2008/09 | 2009/10 | |
| Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | | | |
| 1,75 (integral) | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 1808 a |
| | Incorporada | | | | | 2097 a |
| 3,50 (integral) | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 1808 a |
| | Incorporada | | | | | 1947 a |
| 7,00 ² (integral) | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 2338 b |
| | Incorporada | | | | | 4329 a |
| 7,00 ² (integral) | Sem gesso | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 2338 a |
| | Com gesso | | | | | 3615 a |
| | Com cobertura | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 2338 a |
| | Sem cobertura | | | | | 2430 a |
| | Monocultivo | 0,00 | | M | M | 3361 a |
| | Consórcio | | | M + B | M + B | 2338 a |
| | Sem pousio | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 2338 a |
| | Com pousio | | | | | Pousio |
| 7,00 | Integral | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 2338 a |
| 3,50 | Parcelada | 3,50 | | Pousio | M + B | 280 b |
| 14,00 | Integral | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 4428 a |
| 7,00 | Parcelada | 7,00 | | Pousio | M + B | 3486 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário usada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15% e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

As aplicações superficiais de 1,00 t ha⁻¹ de gesso + 7,00 t ha⁻¹ de calcário, feitas 13 meses antes da semeadura, não tiveram efeito sobre a produtividade do milho (Tabela 9). Caires et al. (2004) verificaram que o gesso, decorridos 43 meses da sua aplicação, somente determinou melhoria da acidez do solo da camada mais profunda (60-80 cm), isto é, não teve efeito nas camadas de solo superiores, mesmo quando aplicado em doses de até 9,00 t ha⁻¹. O gesso é um sal neutro que não tem habilidade para consumir prótons (H⁺) e, portanto, não aumenta o pH do solo. Todavia, graças à reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o SO₄²⁻ deslocando OH⁻, o gesso promove neutralização parcial da acidez (Caires et al., 2004). Entretanto, o gesso pode provocar lixiviação de Ca e Mg da zona de exploração das raízes do milho (CAIRES et al. 2011). O efeito do gesso poderia ser benéfico para o milho, a depender dessas duas tendências, que seriam influenciadas por fatores genotípicos e ambientais, incluindo a dose de gesso aplicada. Caires et al. (2011) verificaram resposta do milho à gessagem aplicando de 0 a 12 t ha⁻¹ de gesso. O rendimento máximo de grãos do milho foi obtido com a aplicação de 7,9 t ha⁻¹ de gesso (CAIRES et al. 2011).

Não houve efeito residual, sobre a produtividade de grãos de milho, da manutenção da cobertura do solo com a aplicação superficial de 7,00 t ha⁻¹ de calcário (Tabela 9). Amaral et al. (2004) não observaram efeitos da aplicação de resíduos vegetais, em combinação com a aplicação de calcário, nas propriedades do solo, mas noutros trabalhos (CASSIOLATO et al., 2000; FRANCHINI et al., 2001; MIYAZAWA et al., 2002) isto foi constatado. Ao que parece, as discordâncias entre autores, no que se refere aos efeitos de resíduos vegetais sobre as propriedades do solo, devem resultar do tipo e da quantidade (LANGE et al., 2006) de resíduo utilizado e de outros fatores ambientais, incluindo o tipo de solo e a quantidade de calcário aplicada. A formação de complexos organo-metálicos hidrossolúveis provavelmente é o principal mecanismo envolvido nas lixiviações de Ca e Mg, após a aplicação de calcário e resíduos vegetais na superfície do solo (MIYAZAWA et al., 2002).

Não houve diferença entre as produtividades de grãos do milho cultivado em monocultivo e em consorciação com a braquiária, com a aplicação superficial de 7,00 t ha⁻¹ de calcário, 13 meses antes da semeadura do milho (Tabela 9). Vários autores demonstraram que o milho em consorciação com a braquiária apresenta

rendimentos de grãos equivalentes ao obtido no monocultivo (FREITAS et al., 2005; JAKELAITIS et al., 2005; LEONEL et al., 2009), desde que se use algum procedimento para reduzir o crescimento inicial da braquiária como, por exemplo, aplicação do herbicida nicosulfuron, conforme realizado nesse trabalho. O milho (CAIRES et al. 2004) e a braquiária (Passos et al., 1997) respondem à aplicação do calcário, mas é possível que o milho tenha se beneficiado melhor que a braquiária, com a aplicação de calcário. As culturas respondem diferentemente às mesmas doses de calcário (FAGERIA, 2001). Na hipótese do milho se beneficiar da calagem mais do que a braquiária, aliado a ação inibitória do herbicida nicosulfuron sobre a mesma, isto lhe possibilitaria competir melhor com a forrageira.

Com a aplicação superficial de $7,00 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, 18 meses antes da semeadura do milho também não houve efeito, sobre o rendimento de grãos do milho, do pousio (Tabela 9). A vegetação natural que permaneceu na área em pousio pode ter se beneficiado da aplicação do calcário, de modo que quando o milho foi cultivado nesta área, na segunda safra, aproveitou menos os benefícios proporcionados pela calagem. Em outras palavras, a vegetação natural na área em pousio e a primeira safra do milho deixaram o solo em condições aproximadamente iguais, no que se refere aos efeitos do calcário, para o segundo cultivo do milho.

A aplicação de uma só vez da dose de $7,00 \text{ t ha}^{-1}$, na primeira safra foi mais vantajosa do que a aplicação parcelada nas duas safras, quando a área ficou em pousio na primeira safra (Tabela 9). A frente de alcalinização proporcionada pela calagem avança lentamente e atinge taxas maiores, quando se adicionam as doses integrais, ao invés de doses parceladas, da necessidade de calcário (KAMINSKI et al., 2005). Além disso, as doses mais elevadas aumentam o efeito residual da calagem, o que não ocorre com as doses menores, tanto a de 50% da necessidade do solo, quanto a de aplicações parceladas e periódicas (KAMINSKI et al., 2005). Aliás, estas observações explicam os resultados observados com as aplicações integrais ou parceladas superficiais de $7,00$ e $14,00 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabela 9). A propósito do avanço lento da frente alcalinizante, deve ser mencionado que os valores de saturação por bases desejados, em alguns casos, não são alcançados mesmo três meses após a calagem, independentemente do modo de incorporação do calcário (WEIRICH NETO et al., 2000).

A acidez do solo limita a produção agrícola em decorrência da toxidez causada por Al^{3+} e baixa saturação de bases. As raízes das plantas não se desenvolvem bem

em solos ácidos, sobretudo por causa da toxidez de Al^{3+} (CAIRES et al., 2004). Häussler et al. (2006) verificaram que as limitações de crescimento de três espécies de braquiária não resultaram da toxidez por Al^{3+} . Por outro lado, dois solos (Latosolo Vermelho-Escuro distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico) apresentaram limitações severas ao crescimento da braquiária devidas a deficiências de P, K, N e S (LIMA et al., 2000). Portanto, parece provável que a calagem tenha aumentado a matéria seca da parte aérea da braquiária em monocultivo (Figura 15) melhorando o suprimento de cálcio e magnésio, reduzindo a imobilização do fósforo e melhorando a eficiência do uso de nutrientes (FAGERIA e BALIGAR, 2008). Faquin et al. (1997) verificaram que a relevância da calagem para a braquiária está relacionada mais ao fornecimento de Ca e Mg como nutrientes do que na correção da acidez. Outros autores verificaram resposta positiva da braquiária em monocultivo em resposta ao aumento da dose de calcário (PASSOS et al., 1997; ROSSI et al., 1997; LIMA et al., 2000). É importante lembrar que a braquiária solteira não foi adubada, mas em compensação não sofreu a competição do milho.

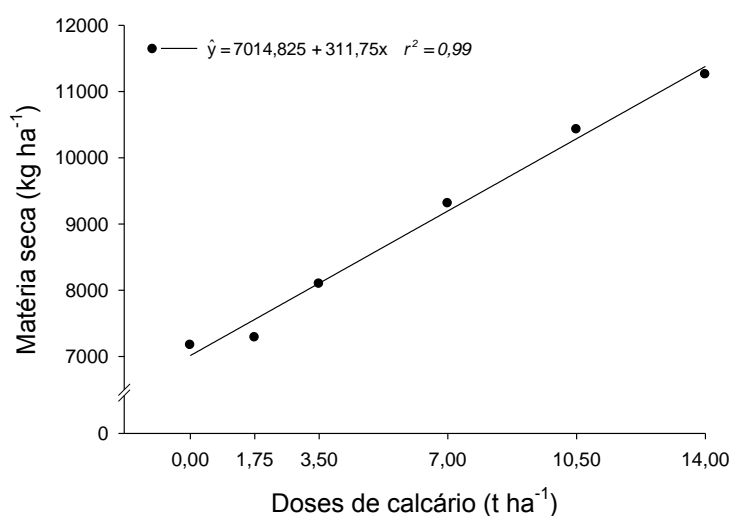


Figura 15- Matéria seca da parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

A consorciação com milho reduziu o rendimento de matéria seca da braquiária, à medida que doses crescentes de calcário foram aplicadas ao solo (Figura 16). O milho tem crescimento mais rápido do que a braquiária, o que lhe confere maior capacidade de competição. Este crescimento deve ser favorecido, nos solos ácidos,

com aplicações de calcário. Estes fatos aliados ao efeito inibitório do herbicida sobre a braquiária explicariam a redução do crescimento da braquiária.

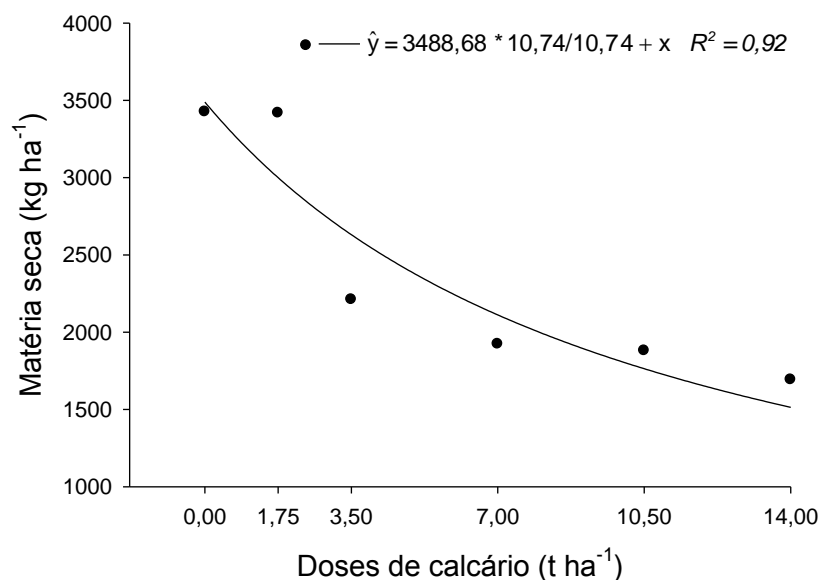


Figura 16- Matéria seca da parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

Tabela 10- Matéria seca da parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú (B), na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de cultivo, em duas safras.

| Estratégias de aplicação do calcário | | | | Estratégias de cultivo | | Matéria seca (kg ha ⁻¹) ¹ |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|------------------------|---------|--|
| Safras | | | | Safras | | |
| 2008/09 | | 2009/10 | | 2008/09 | 2009/10 | |
| Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | | | |
| 1,75 | Superficial | 0,00 | - | M + B | B | 7286 a |
| | Incorporada | | | | | 8365 a |
| 3,50 | Superficial | 0,00 | - | M + B | B | 8096 a |
| | Incorporada | | | | | 8190 a |
| 7,00 ² | Superficial | 0,00 | - | M + B | B | 9310 a |
| | Incorporada | | | | | 10248 a |
| 7,00 | Sem gesso | 0,00 | - | M + B | B | 9310 a |
| | Com gesso | | | | | 9785 a |
| (Superficial) | Sem cobertura | 0,00 | - | M + B | B | 8614 a |
| | Com cobertura | | | | | 9310 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário usada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15% e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

Não existiram efeitos residuais do calcário, aplicado de maneira superficial ou incorporada, nas doses de 1,75, 3,50 ou 7,00 t ha⁻¹, sobre a biomassa seca da braquiária em monocultivo (Tabela 10). Também não existiram efeitos residuais da aplicação de gesso e da manutenção da cobertura vegetal, quando o calcário foi aplicado na dose de 7,00 t ha⁻¹ sobre o rendimento de matéria seca da braquiária em monocultivo (Tabela 10). A depender da cultura, do ano e da dose de calcário aplicado, a calagem superficial pode ter efeitos superiores, inferiores ou iguais aos da calagem incorporada (KAMINSKI et al., 2005). Observações semelhantes foram feitas para o gesso (CAIRES et al., 2011) e para os resíduos (XU et al., 2006; HUE, 2011; WANG et al., 2012). Além disso, os benefícios da calagem, da gessagem e da manutenção da cobertura vegetal feitas no início do cultivo de 2008/09 podem ter sido aproveitados pela consorciação milho-braquiária feitas neste cultivo, em que doses relativamente pequenas de calcário foram aplicadas (Tabela 10).

A aplicação da dose de 1,75 t ha⁻¹ de calcário foi benéfica quando aplicada superficialmente, ocorrendo o contrário com a aplicação da dose de 3,00 t ha⁻¹ (Tabela 11). A forma de aplicação de 7,00 t ha⁻¹ de calcário e a aplicação superficial dessa dose com gesso ou com manutenção da cobertura do solo não tiveram efeitos sobre o rendimento da braquiária (Tabela 11). A biomassa seca da braquiária foi reduzida com a aplicação de apenas 1,00 t ha⁻¹ de calcário, a depender da fonte de fósforo (Benett et al., 2008)

O aumento da dose de calcário aplicada reduziu os teores de nitrogênio (Figura 17) e de potássio (Figura 19), mas aumentou os teores de fósforo (Figura 18), cálcio (Figura 20) e magnésio (Figura 21) na parte aérea da braquiária em monocultivo. A aplicação de calcário feita na safra 2008/09 deve ter tido efeito residual e isso deve ter contribuído para maior disponibilidade de nutrientes para a braquiária. As reduções nos teores de N (Figura 20) e K (Figura 22) podem estar relacionadas aos quatro cortes feitos na forrageira. Coutinho et al. (1999) observaram acentuada redução nos teores de potássio no solo e na planta após cortes da parte aérea. Além disso, Balieiro Neto et al. (2009) verificaram correlação positiva entre teores de N e K em plantas de *B. brizantha*, cultivar Marandú. É interessante mencionar que N e K foram os elementos mais acumulados por braquiária aos 76 dias após a emergência (BIANCO et al., 2005).

Tabela 11- Matéria seca da parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú (B) na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de cultivo em consorciação com o milho (M + B), em duas safras.¹

| Estratégia de aplicação do calcário | | | | Estratégia de cultivo | | Matéria seca (kg ha ⁻¹) |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|---------|-------------------------------------|
| Safras | | | | Safras | | |
| 2008/09 | | 2009/10 | | 2008/09 | 2009/10 | |
| Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | | | |
| 1,75 (integral) | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 3417 a |
| | Incorporada | | | | | 2316 b |
| 3,50 (integral) | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 2210 b |
| | Incorporada | | | | | 4273 a |
| 7,00 ² (integral) | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 1922 a |
| | Incorporada | | | | | 2586 a |
| 7,00 ² (integral) | Sem gesso | 0,00 | Superficial | M + B | M + B | 1922 a |
| | Com gesso | | | | | 1748 a |
| | Com cobertura | 0,00 | Superficial | M + B | M + B | 1922 a |
| | Sem cobertura | | | | | 2150 a |
| | Monocultivo | 0,00 | Superficial | B | B | 2707 a |
| | Consórcio | | | M + B | M + B | 1922 a |
| Com pousio | 0,00 | Superficial | Pousio | M + B | 3059 a | |
| Sem pousio | | | M + B | M + B | 1922 b | |
| 7,00 | Integral | 0,00 | Superficial | M + B | M + B | 1922 b |
| 3,50 | Parcelada | 3,50 | Superficial | Pousio | M + B | 4435 a |
| 14,00 | Integral | 0,00 | Superficial | M + B | M + B | 1692 a |
| 7,00 | Parcelada | 3,50 | Superficial | Pousio | M + B | 2257 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário usada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15% e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

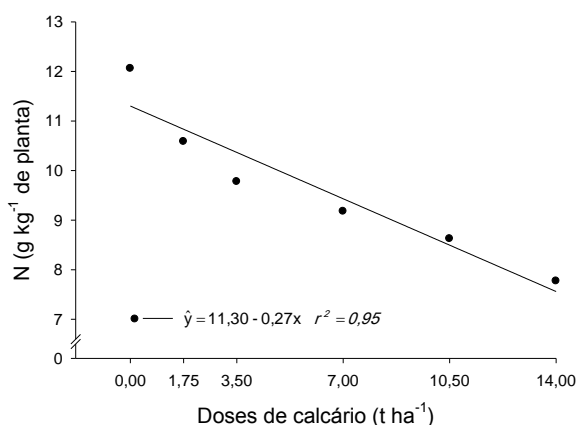


Figura 17- Nitrogênio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

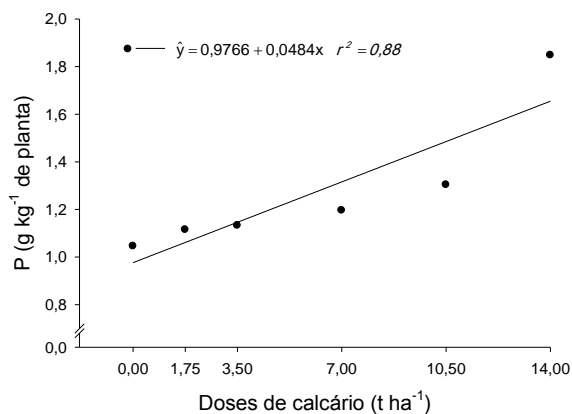


Figura 18- Fósforo na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

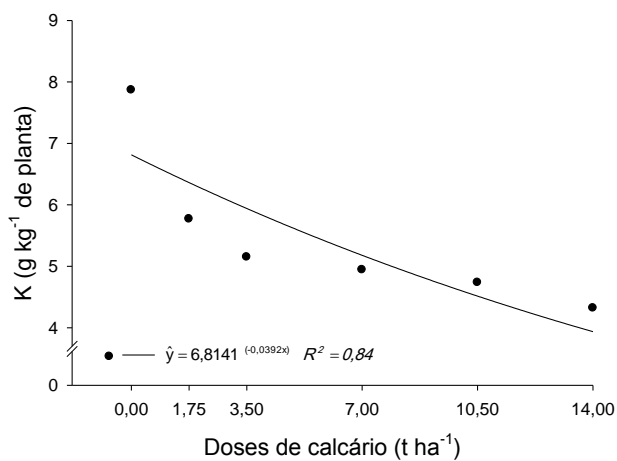


Figura 19- Potássio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

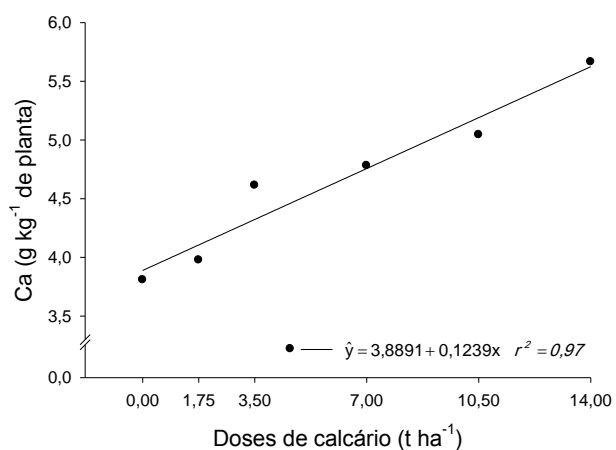


Figura 20- Cálcio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

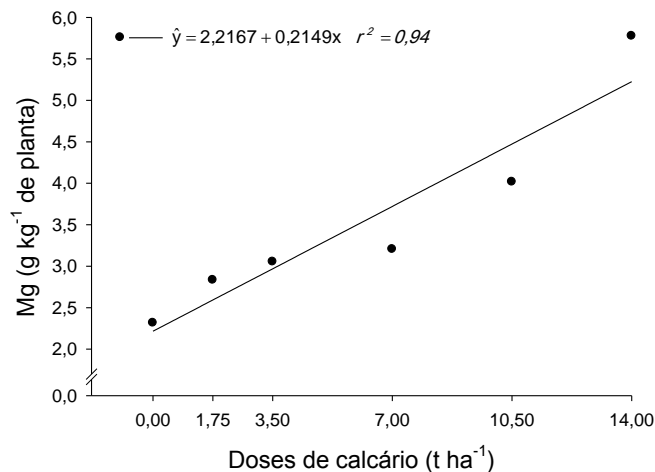


Figura 21- Magnésio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10 em resposta às aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

Diferentemente do observado no presente trabalho, Passos (1994) e Faquin et al. (1997) verificaram que os níveis de calcário tiveram pouca influência nos teores de Ca na parte aérea da braquiária, mas nesses trabalhos o calcário foi usado em combinação com fontes de fósforo contendo Ca o que, segundo os autores, impediu a resposta da braquiária a doses de calcário. No que se refere ao Mg, tem-se verificado aumento dos teores na planta em resposta ao aumento da dose de calcário (PASSOS, 1994; FAQUIN et al., 1997).

As estratégias de aplicação de calcário e de cultivo tiveram poucos efeitos sobre a nutrição da braquiária em monocultivo (Tabela 12). A incorporação de 7,00 t ha⁻¹ aumentou o teor de K na parte aérea da braquiária, em relação à aplicação superficial da mesma dose. Os teores de N e Mg foram maiores na braquiária solteira do que na braquiária consorciada com milho, quando foram aplicadas 7,00 t ha⁻¹ de calcário. Isto ocorreu provavelmente devido à competição com o milho. A aplicação integral de 14,00 t ha⁻¹ de calcário foi melhor que a aplicação parcelada desta dose, para os teores de N e Mg na parte aérea da braquiária (Tabela 12). As doses integrais da necessidade de calcário promovem maior avanço da frente de neutralização da acidez do solo (Kaminski et al., 2005). Isto possibilitaria à braquiária maior absorção de alguns nutrientes, como aconteceu com o N e o Mg no presente trabalho (Tabela 12).

Tabela 12- Nutrientes na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta às estratégias de aplicação de calcário e de cultivo em duas safras.¹

| Estratégia de aplicação do calcário | | | | Estratégia de cultivo | | Concentração de nutrientes | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--|-------|--------|-------|-------|
| Safras | | | | Safras | | N | P | K | Ca | Mg |
| 2008/09 | | 2009/10 | | 2008/09 | 2009/10 | -----g kg ⁻¹ de planta----- | | | | |
| Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | | | | | | | |
| 1,75 | Superficial | 0,00 | - | M + B | B | 10,6 a | 1,1 a | 5,8 a | 5,0 a | 3,2 a |
| | Incorporada | | | | | 10,7 a | 1,1 a | 8,3 a | 5,2 a | 3,4 a |
| 3,50 | Superficial | 0,00 | - | M + B | B | 9,2 a | 1,1 a | 4,9 a | 4,6 a | 3,1 a |
| | Incorporada | | | | | 11,2 a | 1,0 a | 5,2 a | 4,9 a | 3,6 a |
| 7,00 ² | Superficial | 0,00 | - | M + B | B | 7,8 a | 1,3 a | 4,3 b | 4,8 a | 2,8 a |
| | Incorporada | | | | | 9,9 a | 1,1 a | 11,6 a | 3,8 a | 3,0 a |
| 7,00 | Sem gesso | 0,00 | superficial | M + B | B | 7,8 a | 1,3 a | 4,3 a | 4,8 a | 2,8 a |
| | Com gesso | | | | | 8,4 a | 1,6 a | 7,4 a | 5,8 a | 3,8 a |
| | Com cobertura | 0,00 | superficial | M + B | B | 10,7 a | 1,2 a | 9,7 a | 5,2 a | 4,3 a |
| | Sem cobertura | | | | | 7,8 a | 1,3 a | 4,3 a | 4,8 a | 2,8 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário usada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15% e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. e Ribeiro, 1999).

O aumento da dose de calcário aplicada aumentou os teores de nitrogênio (Figura 22), fósforo (Figura 23), potássio (Figura 24), cálcio (Figura 25) e magnésio (Figura 26) na parte aérea da braquiária consorciada com o milho. O aumento das doses de calcário elevou o pH nas camadas de solo de 0-40 cm de acordo com equações do tipo $y = a + bx$ (não apresentadas) e reduziu os teores de Al de acordo com equações do tipo $y = a - bx$ ou $y = a - bx + cx^2$ (não apresentadas) e os teores de Al + H, de acordo com equações do tipo $y = a - bx$ (não apresentadas) e isso deve ter contribuído para maior disponibilidade de nutrientes para a braquiária, apesar da competição com o milho.

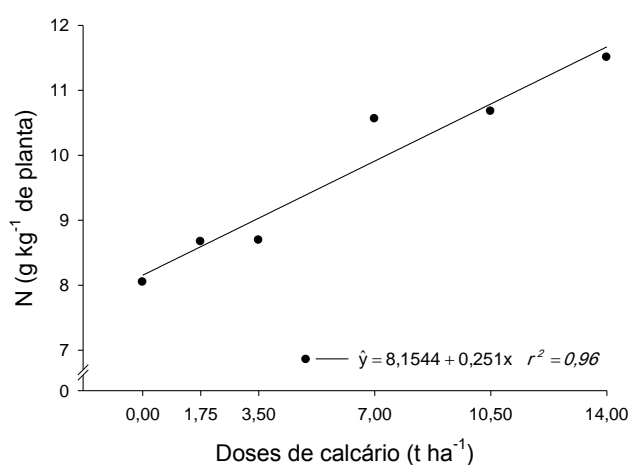


Figura 22- Nitrogênio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

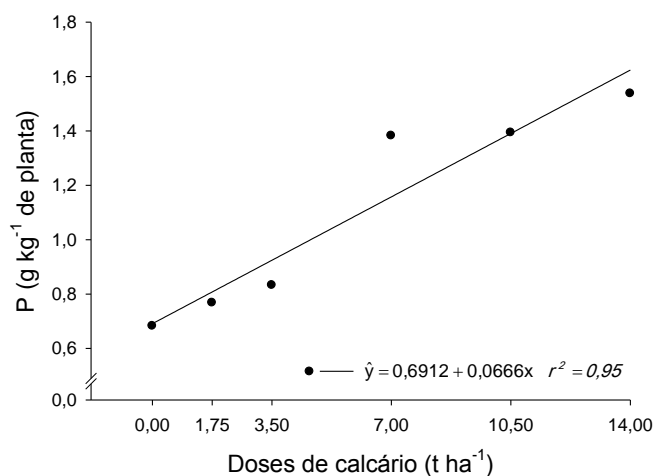


Figura 23- Fósforo na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

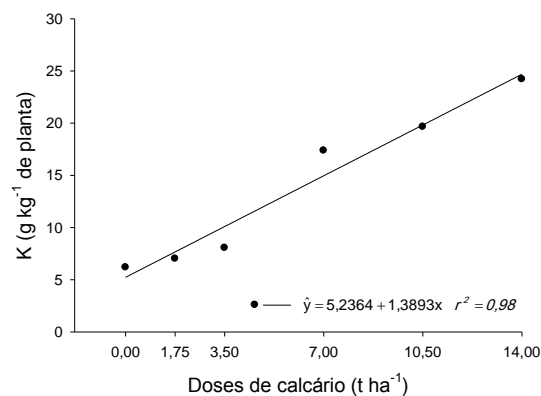


Figura 24- Potássio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandu, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

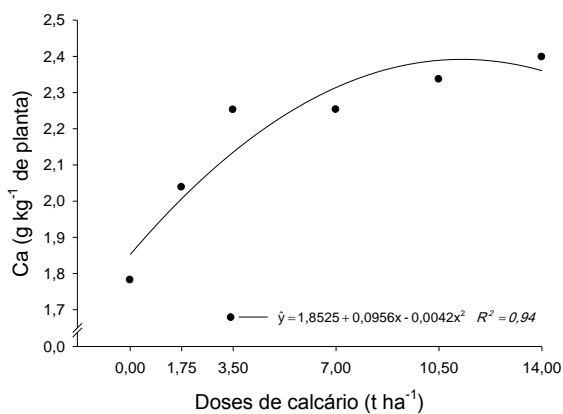


Figura 25- Cálcio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

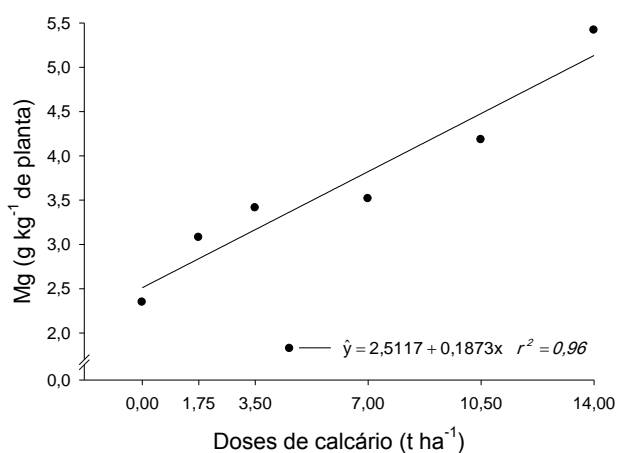


Figura 26- Magnésio na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, cultivada em consorciação com a cv. de milho DKB 390, em resposta à aplicações superficiais de doses de calcário, feitas na safra 2008/09.

As estratégias de aplicação do calcário e de cultivo influenciaram apenas no teor de K da parte aérea da braquiária consorciada com o milho (Tabela 13), além do teor de P, que foi aumentado pelas aplicações integrais de 7,00 e 14,00 t ha⁻¹ de calcário. As doses integrais da necessidade de calcário promovem maior avanço da frente de neutralização da acidez do solo (KAMINSKI et al., 2005), o que possibilitaria maiores absorções de P e K pela braquiária. As aplicações incorporadas de 1,75, 3,50 e 7,00 t ha⁻¹ propiciaram maiores teores de K na parte aérea da braquiária do que as aplicações superficiais. A incorporação do calcário corrige a acidez do solo a profundidades maiores do que a aplicação superficial, especialmente com doses mais elevadas (CAIRES et al., 2004; ALLEONI et al., 2005). Isto beneficia maior proporção de raízes, o que pode resultar em maior absorção de nutrientes. As ausências do gesso da cobertura vegetal determinaram aumentos no teor de K da parte aérea da braquiária consorciada com milho (Tabela 13). Mesquita et al. (2004) verificaram que no estabelecimento da braquiária, de 13 atributos do solo, apenas os teores de Ca, Al e T foram influenciados pela dose de gesso. Observaram ainda que a aplicação de doses crescentes de gesso e decrescentes de calcário foi menos eficiente na redução dos teores de Al e H + Al. O teor de K na parte aérea da braquiária foi menor na braquiária solteira do que na consorciada (Tabela 13) devido provavelmente aos cortes feitos na braquiária em monocultivo. O procedimento de se deixar a área em pousio para ser cultivada na safra seguinte com a consorciação milho-braquiária reduziu o teor de K na parte aérea da braquiária (Tabela 13), isto ocorreu devido, provavelmente, à adubação feita para o milho na consorciação milho-braquiária, mas não para a área deixada em pousio. As aplicações integrais, de 7,00 ou 14,00 t ha⁻¹ foram mais efetivas em aumentar o teor de K na parte aérea da braquiária do que as aplicações parceladas das mesmas doses. As doses integrais da necessidade de calcário promovem maior avanço da frente de neutralização da acidez do solo (KAMINSKI et al., 2005). Isto possibilitaria à braquiária maior absorção de K.

Tabela 13- Nutrientes na parte aérea da *B. brizantha*, cv. Marandú, na safra 2009/10, em resposta a estratégias de aplicação de calcário e de cultivo em consorciação com o milho (M + B) em duas safras.¹

| Estratégia de aplicação do calcário | | | | Estratégia de cultivo | | Concentração de nutrientes | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|---------|--|--------|--------|--------|--------|
| Safras | | | | Safras | | N | P | K | Ca | Mg |
| 2008/09 | | 2009/10 | | 2008/09 | 2009/10 | -----g kg ⁻¹ de planta----- | | | | |
| Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | Dose (t ha ⁻¹) | Forma de aplicação | | | | | | | |
| 1,75 | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 9,1 a | 0,77 a | 7,0 b | 2,0 a | 3,5 a |
| | Incorporada | | | | | 9,2 a | 0,95 a | 16,0 a | 3,0 a | 2,4 a |
| 3,50 | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 9,4 a | 0,77 a | 7,1 b | 2,3 a | 3,8 a |
| | Incorporada | | | | | 9,3 a | 0,95 a | 16,1 a | 3,5 a | 2,7 a |
| 7,00 ² | Superficial | 0,00 | - | M + B | M + B | 11,0 a | 1,38 a | 17,0 a | 2,1 a | 4,2 a |
| | Incorporada | | | | | 9,6 a | 1,22 a | 12,9 b | 3,1 a | 3,2 a |
| 7,00 ² | Sem gesso | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 11,0 a | 1,38 a | 17,0 a | 2,1 a | 4,2 a |
| | Com gesso | | | | | 9,3 a | 1,52 a | 10,0 b | 3,2 a | 3,3 a |
| | Com cobertura vegetal | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 10,6 a | 1,72 a | 11,6 b | 3,6 a | 4,0 a |
| | Sem cobertura vegetal | | | | | 11,5 a | 1,38 a | 17,5 a | 2,8 a | 4,0 a |
| | Monocultivo | 0,00 | superficial | B | B | 9,4 a | 1,26 a | 13,1 b | 2,0 a | 3,4 a |
| | Consórcio | | | | | M + B | M + B | 11,0 a | 1,38 a | 17,0 a |
| Com pousio | 0,00 | superficial | Pousio | M + B | 12,2 a | 0,99 a | 8,6 b | 3,3 a | 4,2 a | |
| Sem pousio | | | | | M + B | M + B | 11,1 a | 1,38 a | 17,0 a | 2,1 a |
| 7,00 | De uma só vez (7,00) | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 11,0 a | 1,38 a | 17,0 a | 2,1 a | 4,2 a |
| | Parceladamente (3,50) | 3,50 | | | | 11,1 a | 0,81 b | 6,4 b | 2,2 a | 4,9 a |
| 14,00 | De uma só vez (14,00) | 0,00 | superficial | M + B | M + B | 12,1 a | 1,54 a | 24,2 a | 2,2 a | 5,3 a |
| | Parceladamente (7,00) | 7,00 | | | | 10,0 a | 1,53 a | 12,4 b | 3,1 a | 3,5 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

²Dose de calcário usada para neutralizar o Al³⁺ considerando a saturação crítica do Al³⁺ de 15% e elevar os teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ até 2 cmol_c dm⁻³, de acordo com a exigência da cultura do milho (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

O incremento na dose de calcário apresentou efeito residual positivo no pH e nos teores de Ca e Mg, e negativo no teor de Al^{3+} e na acidez potencial, em todas as camadas de solo avaliadas (Figuras 27 a 31) respectivamente. Os efeitos foram lineares, à exceção do teor de alumínio que, na camada de solo de 0-5 cm, diminuiu de forma exponencial, indicando que as menores doses reduziram mais intensamente esta característica na camada mais superficial do solo (Figura 17). Resultados similares foram observados por outros autores (TISSI et al., 2004; FIDALSKI e TORMENTA, 2005; NATALE et al., 2007, inclusive no que se refere à diminuição exponencial observada no presente trabalho (MARCELO et al., 2012).

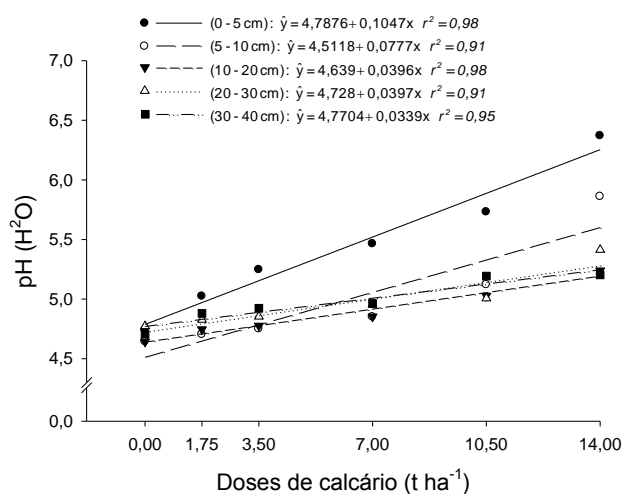


Figura 27- pH (H_2O) em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação.

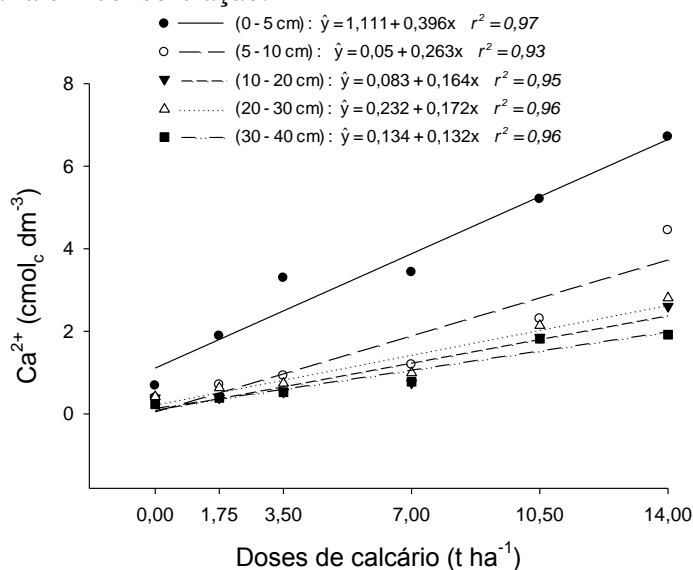


Figura 28- Cálcio trocável em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação.

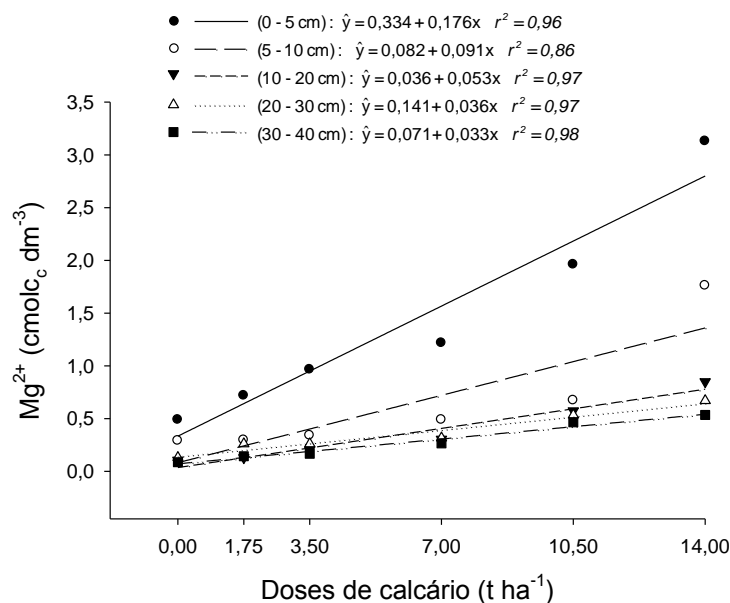


Figura 29- Magnésio trocável em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação.

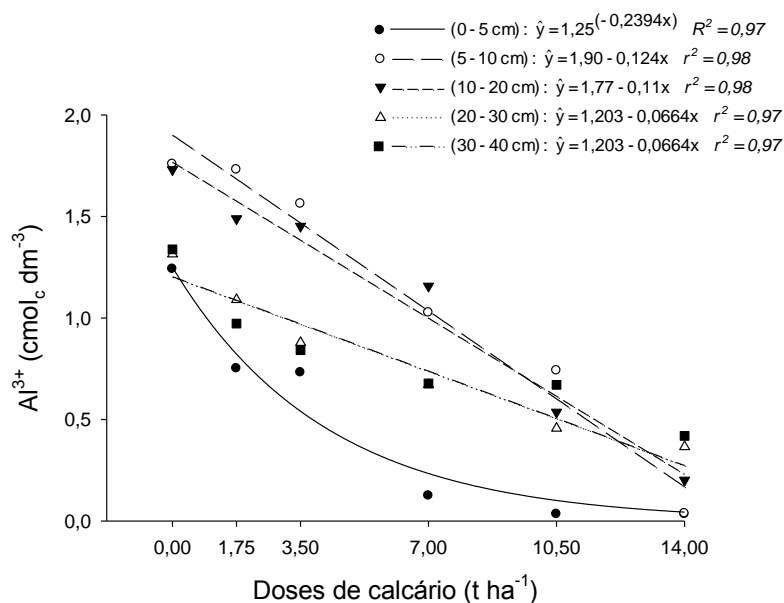


Figura 30- Acidez trocável (Al³⁺) em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação.

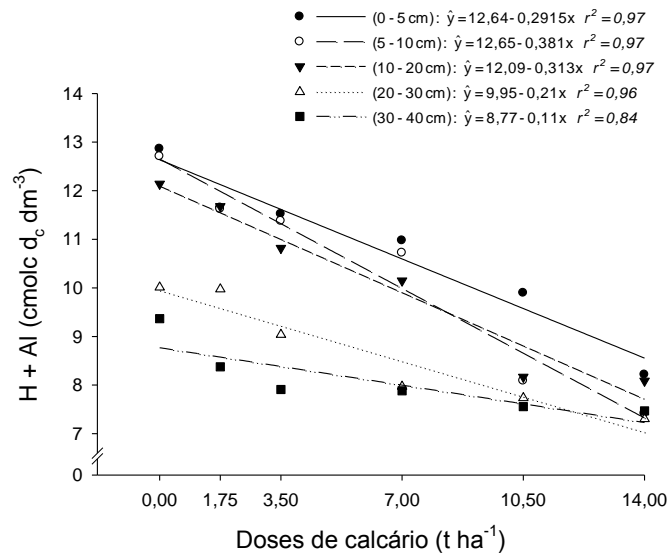


Figura 31- Acidez potencial (Al + H) em camadas de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico distrófico, aos 20 meses após a aplicação de doses de calcário, após dois cultivos de milho e braquiária em consorciação.

Existem pelo menos três causas que podem explicar o deslocamento das partículas de calcário ao longo do perfil do solo (NATALE et al., 2007; MARCELO et al., 2012). Em primeiro lugar, o movimento físico para baixo das partículas de calcário através de poros do solo formados pela decomposição de raízes (OLIVEIRA e PAVAN, 1996) ou por organismos do solo (MELLO et al., 2003), que permanecem intactos no sistema de plantio direto (MARCELO et al., 2012). Em segundo lugar, o movimento para baixo dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} ligados a NO_3^- ou SO_4^{2-} (originados de fertilizantes ou que foram liberados pela mineralização da matéria orgânica) (MELLO et al., 2003). Em terceiro lugar, pela formação de complexos orgânicos solúveis em água, presentes nos resíduos vegetais deixados sobre a superfície do solo no sistema de plantio direto (FRANCHINI et al., 2001). Estes compostos orgânicos, ligam-se com Ca^{2+} ou Mg^{2+} , formam complexos do tipo CaL^0 ou CaL^- , tornando-os mais móveis no solo (MARCELO et al., 2012).

A manutenção da cobertura vegetal na superfície do solo elevou o pH e os teores de Ca e Mg, mas não alterou os teores de Al e Al + H na camada mais superficial do solo (0-5 cm) (Tabela 14). Nas camadas de 5-10, 10-20 e 20-30 cm, a cobertura vegetal não teve efeito sobre os atributos do solo, à exceção do teor de Al que, na camada de 10-20 cm foi maior com a presença de cobertura (Tabela 14). A adição de matéria orgânica na forma de resíduos vegetais reduz a toxidez provocada pelo Al, através da precipitação do Al solúvel e da formação de complexos matéria

orgânica-Al (NARAMBUYE e HAYNES, 2006). Além disso, resíduos vegetais podem mobilizar cátions e aumentar a mobilidade do calcário aplicado na superfície do solo devido à liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular da fração solúvel dos resíduos vegetais (FRANCHINI et al., 2003). Na camada de 30-40 cm, os efeitos da manutenção da cobertura vegetal foram inversos aos da camada de 0-5 cm (Tabela 14). Isto é, a presença da cobertura do solo reduziu o pH e os teores de Ca e Mg e aumentou o teor de Al.

Tabela 14- Características químicas do solo, em diferentes camadas, após dois cultivos de milho em consorciação com brachiária (M + B), após 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha⁻¹ de calcário, com ou sem manutenção da cobertura da vegetação após dessecação.¹

| Característica | Cultivos | | | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|----------|----------|-------|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------|
| | Anos | | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| | 2008/09 | 2009/10 | | | | | | |
| Cobertura vegetal | Culturas | Culturas | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | Com | M + B | M + B | 5,46 a | 4,85 a | 4,85 a | 4,95 a | 4,96 b |
| | Sem | | | 5,08 b | 4,88 a | 5,01 a | 4,86 a | 5,76 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Com | M + B | M + B | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | Sem | | | 1,94 b | 1,01 a | 1,46 a | 0,83 a | 4,83 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Com | M + B | M + B | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 b |
| | Sem | | | 0,74 b | 0,29 a | 0,41 a | 0,29 a | 1,73 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Com | M + B | M + B | 0,12 a | 1,03a | 1,16 a | 0,67 a | 0,68 a |
| | Sem | | | 0,64 a | 1,35a | 0,48 b | 0,89 a | 0,04 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Com | M + B | M + B | 0,12 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | Sem | | | 0,64 a | 11,09 a | 7,99 a | 8,97 a | 5,50 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Diehl et al. (2008), sob condições de laboratório, obtiveram resultados semelhantes aos observados no presente trabalho, no que se refere aos efeitos da aplicação de resíduos, sobre a camada de 0-5 cm. Isto é, eles verificaram que a aplicação combinada resíduos + calcário proporcionou aumento do pH e dos teores de Ca e Mg, em relação à aplicação isolada de calcário. Observaram, entretanto, que esta tendência ocorreu também nas camadas mais profundas, o que não ocorreu no presente trabalho. É importante mencionar, entretanto, que a adição de resíduos pode reduzir o pH do solo devido, por exemplo, à nitrificação do nitrogênio do resíduo (XU et al., 2006; WANG et al., 2012). O efeito líquido da adição de resíduos depende de uma série de processos, e seria determinado pela composição química dos resíduos e pelo ambiente do solo (XU et al., 2006; BUTTERLY et al., 2010). No presente trabalho, no primeiro cultivo, a cobertura do solo foi constituída por uma mistura de resíduos vegetais e distribuída desuniformemente na área experimental.

Além disso, o cultivo do milho + braquiária no primeiro ano deve ter contribuído para adição de resíduos vegetais para o segundo ano, após o que a avaliação foi feita, o que pode ter influenciado o efeito da manutenção da cobertura vegetal feita no primeiro ano.

O pousio (Tabela 15) determinou efeitos semelhantes aos da manutenção da cobertura do solo (Tabela 14). Isto é, na camada de 0-5 cm da área em pousio no primeiro cultivo, o pH e os teores de Ca e Mg foram maiores, mas na camada de 30-40 cm da área cultivada com milho + braquiária ocorreu o inverso, inclusive com redução do teor de Al (Tabela 15). Na área em pousio ocorreu adição de resíduos vegetais ao solo, especialmente das espécies de ciclo mais curto e mais herbáceas e isso pode ter favorecido os atributos químicos do solo. O cultivo do milho + braquiária, no primeiro cultivo, propiciou resíduos vegetais cujo N nitrificado pode ter resultado em diminuição do pH do solo na camada mais profunda (Tabela 15).

Tabela 15- Características químicas do solo, em diferentes camadas, após 20 meses de aplicação superficial de 7,00 t ha⁻¹ de calcário, de áreas em pousio ou cultivada com milho e braquiária em consorciação (M + B).¹

| Característica | Cultivo | | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------|
| | Anos | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| | 2008/09 | 2009/10 | | | | | |
| pH (H ₂ O) | Pousio | M + B | 5,46 a | 4,85 a | 4,85 a | 4,95 a | 4,96 b |
| | M + B | M + B | 5,03 b | 4,84 a | 4,94 a | 4,99 a | 6,04 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | M + B | M + B | 1,73 b | 0,94 a | 1,18 a | 1,01 a | 6,16 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 b |
| | M + B | M + B | 0,70 b | 0,37 a | 0,38 a | 0,34 a | 1,69 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | 0,12 a | 1,03 a | 1,16 a | 0,67 a | 0,68 a |
| | M + B | M + B | 0,65 a | 0,99 a | 1,03 a | 0,81 a | 0,00 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | 9,89 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | M + B | M + B | 8,33 a | 9,52 a | 9,05 a | 8,12 a | 6,53 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A aplicação de gesso em combinação com o calcário aumentou o pH e os teores de Ca e Mg e reduziu o teor de Al da camada de solo de 30-40 cm de profundidade, mas não teve efeito sobre os atributos químicos do solo das outras camadas, à exceção do pH da camada mais superficial, que foi reduzido com a adição de gesso (Tabela 16). O gesso agrícola, sendo mais solúvel, aplicado na superfície do solo, movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação da

água e, conseqüentemente, obtêm-se aumento do suprimento de cálcio e redução da toxidez de Al no subsolo (CAIRES et al., 2003).

Tabela 16- Características químicas do solo, em diferentes camadas, aos 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha⁻¹ de calcário, com ou sem a aplicação de gesso agrícola, após dois cultivos de milho em consorciação com braquiária.¹

| Característica | Cultivo | | | | | | | |
|--|--|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------|
| | Anos | | | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
| | 2008/09 | 2009/10 | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| | Gesso agrícola (1,0 t ha ⁻¹) | Cultivo | Cultivo | | | | | |
| pH (H ₂ O) | sem | M + B | M + B | 5,46 a | 4,85 a | 4,85 a | 4,95 a | 4,96 b |
| | com | M + B | M + B | 5,06 b | 4,84 a | 4,87 a | 4,93 a | 5,56 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | sem | M + B | M + B | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | com | M + B | M + B | 2,54 a | 1,10 a | 1,60 a | 1,33 a | 4,17 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | sem | M + B | M + B | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 b |
| | com | M + B | M + B | 0,82 a | 0,35 a | 0,48 a | 0,39 a | 1,04 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | sem | M + B | M + B | 0,12 a | 1,03 a | 1,16 a | 0,67 a | 0,68 a |
| | com | M + B | M + B | 0,64 a | 0,79 a | 0,80 a | 0,74 a | 0,07 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | sem | M + B | M + B | 9,89 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | com | M + B | M + B | 11,34 a | 10,82 a | 9,60 a | 8,62 a | 7,28 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Algumas hipóteses têm sido sugeridas para explicar os mecanismos envolvidos na diminuição do Al trocável pela aplicação de gesso, principalmente nas camadas mais profundas do solo (SORATTO e CRUSCIOL, 2008), tal como observado no presente trabalho. Uma delas seria a liberação de OH⁻ pelo SO₄²⁻, mediante a troca de ligantes, com a formação de estruturas hidroxiladas de Al, mecanismo chamado de "autocalagem" (Reeve & Sumner, 1972). Poderia ocorrer também precipitação de Al com a formação de minerais (ADAMS e RAWAYFIH, 1977). Outra possibilidade seria a lixiviação de Al acompanhando o gesso o que pode ser, em parte, favorecida pela formação, principalmente, de pares iônicos ou complexos AlSO₄⁺ (Pavan et al., 1984).

Os efeitos, sobre os atributos químicos do solo, do milho em monocultivo e consorciado com a braquiária, e da braquiária em monocultivo e consorciada com milho são apresentadas nas Tabelas 17 e 18, respectivamente. Em relação ao monocultivo do milho, a consorciação do milho com a braquiária aumentou os teores de Ca e Mg e reduziu o teor de alumínio, na camada de 0-5 cm (Tabela 17). O inverso foi verdadeiro, na camada de 30-40 cm, em que a consorciação reduziu também o pH. Nas camadas intermediárias do solo, a consorciação reduziu o pH (5-10 cm) e aumentou o teor de Al (10-20 cm) (Tabela 17). Em relação ao monocultivo

da braquiária, a consorciação milho-braquiária reduziu os teores de Ca e Mg e a acidez potencial (Tabela 18).

A consorciação pode alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em relação aos monocultivos (FEI et al., 2006; SILVA et al., 2009; OELBERMANN e ECHARTE 2011). É possível que a consorciação exerça influência sobre a acidez do solo via deposição de resíduos vegetais.

Tabela 17- Características químicas do solo, em diferentes camadas, aos 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha⁻¹, após dois cultivos de milho, em monocultivo ou em consorciação com braquiária.¹

| Característica | Sistema de cultivo do milho | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | Consortiado | 5,46 a | 4,85 b | 4,85 a | 4,95 a | 4,96 b |
| | Monocultivo | 5,18 a | 5,30 a | 4,92 a | 4,93 a | 5,88 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | Monocultivo | 1,82 b | 1,02 a | 1,28 a | 1,29 a | 6,60 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 b |
| | Monocultivo | 0,33 b | 0,23 a | 0,26 a | 0,28 a | 1,88 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 0,12 b | 1,03 a | 1,16 a | 0,67 a | 0,68 a |
| | Monocultivo | 0,89 a | 1,32 a | 0,56 b | 0,51 a | 0,02 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 9,89 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | Monocultivo | 10,53 a | 11,41 a | 10,56 a | 8,13 a | 7,29 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 18- Características químicas do solo, em diferentes camadas, aos 20 meses da aplicação superficial de 7,0 t ha⁻¹, após dois cultivos de braquiária, em monocultivo ou em consorciação com milho.¹

| Característica | Sistemas de cultivo da braquiária | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|---------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | Consortiado | 5,46 a | 4,85 a | 4,85 a | 4,95 a | 4,96 a |
| | Monocultivo | 5,33 a | 4,99 a | 4,99 a | 5,02 a | 5,09 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | Monocultivo | 3,01 a | 1,12 a | 1,28 a | 1,01 a | 2,06 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 b |
| | Monocultivo | 1,09 a | 0,32 a | 0,42 a | 0,32 a | 0,74 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 0,12 a | 1,03 a | 1,16 a | 0,67 a | 0,68 |
| | Monocultivo | 0,19 a | 0,74 a | 1,07 a | 0,69 a | 0,79 |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Consortiado | 9,89 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | Monocultivo | 9,05 a | 9,21 a | 10,38 a | 9,17 a | 12,14 b |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A aplicação superficial do calcário foi mais benéfica que a aplicação incorporada nas doses menores avaliadas (Tabela 19). Nestas doses, houve redução

do teor de Al e da toxidez potencial ($1,75 \text{ t ha}^{-1}$) e aumento do teor de Ca ($3,50 \text{ t ha}^{-1}$). Zambrosi et al. (2007) verificaram que a calagem na superfície proporcionou maior correção da acidez ativa na camada superficial do solo (0-5 cm) do que quando o calcário foi incorporado. Entretanto, apenas com a incorporação do calcário foi possível a modificação vantajosa nas camadas mais profundas do solo (Tabela 19). Com a aplicação incorporada da menor dose, houve aumento do pH e dos teores de Ca e Mg na camada de 30-40 cm. Com a incorporação de $7,00 \text{ t ha}^{-1}$, além destes aumentos, houve também aumento do pH na camada de 10-20 cm e redução do teor de Al na camada de 30-40 cm (Tabela 19). Em outras palavras, com o aumento do período de tempo decorrido da aplicação do calcário, a aplicação incorporada torna-se mais vantajosa, alcançando maiores profundidades, especialmente com o aumento da dose aplicada de calcário. Rheinheimer et al. (2000) verificaram que, à medida que se aumentou a dose de calcário na superfície do solo, a correção da acidez em profundidade foi maior, porém a incorporação teve efeito imediato. Não ocorreu migração dos efeitos da calagem no perfil do solo quando a quantidade aplicada em superfície foi menor do que a necessidade para neutralizar o Al trocável das camadas adjacentes (RHEINHEIMER et al., 2000).

A ação do calcário na neutralização da acidez de subsolos é dificultada pelo aumento da retenção de cátions em decorrência da geração de cargas elétricas variáveis negativas com a elevação do pH do solo. Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, também são consumidos nas reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) na camada de deposição do calcário. No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, movimenta-se para o subsolo para reagir com a acidez (Caires et al., 2003). Os efeitos da calagem em profundidade somente devem ocorrer quando o pH (em água) na zona de dissolução do calcário atingir valores de 5,2 a 5,6 (RHEINHEIMER et al., 2000). A diminuição da acidez no subsolo pela calagem superficial ou incorporada se daria através da formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

A aplicação do calcário em uma só dose ($7,00 \text{ t ha}^{-1}$ ou $14,00 \text{ t ha}^{-1}$) foi frequentemente mais vantajosa do que a aplicação parcelada, especialmente nos atributos das camadas de solo mais superficiais (Tabela 20). Na camada mais profunda, a aplicação parcelada é que trouxe benefícios com mais frequência, elevando o pH e os teores de Ca e Mg e reduzindo o teor de Al (Tabela 20). Com o

aumento do período de tempo decorrido entre a aplicação do calcário e a avaliação dos atributos do solo, os benefícios da calagem tendem a se concentrar nas camadas mais profundas e isto ocorre mais frequentemente com as aplicações parceladas, ocorrendo o inverso com as aplicações integrais. Deve ser notado ainda que os efeitos do parcelamento foram diferentes nos atributos químicos avaliados.

Tabela 19- Características químicas do solo, em diferentes camadas, aos 20 meses da aplicação de doses de calcário, com ou sem incorporação, após dois cultivos de milho em consorciação com braquiária.¹

| Característica | Doses de calcário (t ha ⁻¹) | Incorporação do calcário | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|---|--------------------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|---------|
| | | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | 1,75 | sem | 5,02 a | 4,70 a | 4,75 a | 4,83 a | 4,88 b |
| | | com | 4,84 a | 4,83 a | 4,76 a | 4,77 a | 5,44 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 1,89 a | 0,71 a | 0,39 a | 0,63 a | 0,39 b |
| | | com | 1,45 a | 0,52 a | 0,45 a | 0,44 a | 3,22 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,72 a | 0,30 a | 0,13 a | 0,26 a | 0,14 b |
| | | com | 0,52 a | 0,17 a | 0,15 a | 0,13 a | 1,23 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,75 b | 1,71 a | 1,49 a | 1,09 a | 0,97 a |
| | | com | 1,62 a | 1,41 a | 1,30 a | 1,46 a | 0,50 a |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 10,97 b | 12,71 a | 11,68 a | 9,97 a | 8,38 a |
| | | com | 16,20 a | 10,89 a | 10,97 a | 9,08 a | 11,18 a |
| pH (H ₂ O) | 3,50 | sem | 5,25 a | 4,75 a | 4,78 a | 4,85 a | 4,92 a |
| | | com | 4,95 a | 4,83 a | 4,81 a | 5,04 a | 5,04 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 3,29 a | 0,92 a | 0,53 a | 0,74 a | 0,52 a |
| | | com | 1,75 b | 0,76 a | 0,65 a | 0,47 a | 0,47 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,96 a | 0,34 a | 0,20 a | 0,26 a | 0,17 a |
| | | com | 0,61 a | 0,23 a | 0,24 a | 0,14 a | 0,14 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,73 a | 1,56 a | 1,45 a | 0,88 a | 0,84 a |
| | | com | 1,17 a | 1,69 a | 1,31 a | 0,78 a | 0,78 a |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 10,72 a | 11,62 a | 10,82 a | 9,04 a | 7,91 a |
| | | com | 12,51 a | 13,67 a | 9,35 a | 7,66 a | 7,66 a |
| pH (H ₂ O) | 7,00 | sem | 5,46 a | 4,85 a | 4,85 b | 4,95 a | 4,96 b |
| | | com | 5,45 a | 4,93 a | 5,29 a | 4,95 a | 5,45 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | | com | 2,81 a | 1,45 a | 1,14 a | 0,80 a | 5,10 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 b |
| | | com | 1,19 a | 0,43 a | 0,38 a | 0,20 a | 1,28 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,12 a | 1,03 a | 1,16 a | 0,67 a | 0,68 a |
| | | com | 0,65 a | 0,82 a | 0,75 a | 0,93 a | 0,03 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 9,89 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | | com | 10,18 a | 11,20 a | 10,03 a | 7,77 a | 8,88 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Os efeitos do parcelamento foram diferentes nos atributos químicos avaliados também quando a área foi deixada em pousio no primeiro ano agrícola e cultivada com milho + braquiária apenas no segundo ano (Tabela 21). A aplicação parcelada da dose de 7,00 t ha⁻¹ foi mais vantajosa nas camadas superficiais, elevando o pH e o

teor de Ca, e reduzindo o teor de Al na maioria das camadas. Entretanto, a aplicação integral desta mesma dose foi melhor na elevação dos teores de Ca e Mg, na camada de 30-40 cm. Portanto a aplicação de 7,00 t ha⁻¹ apresentou efeitos similares sobre os atributos químicos do solo, quer a área no primeiro cultivo tenha estado em pousio (Tabela 21), quer tenha sido cultivada com milho + braquiária (Tabela 21).

Tabela 20- Características químicas do solo, em diferentes camadas, em dose única aos 20 meses ou com metade aos 8 meses e a outra metade aos 20 meses em áreas cultivadas com milho e braquiária em consorciação.¹

| Característica | Doses de calcário (t ha ⁻¹) | Parcelamento do calcário | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|---|--------------------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------|
| | | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| pH (H ₂ O) | 7,00 | sem | 5,46 a | 4,85 b | 4,85 b | 4,95 a | 4,96 b |
| | | com | 5,53 a | 5,25 a | 5,28 a | 5,17 a | 5,67 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 3,43 a | 1,19 a | 0,75 a | 0,99 a | 0,68 b |
| | | com | 4,00 a | 2,07 a | 1,85 a | 1,59 a | 4,66 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 1,22 a | 0,49 a | 0,30 a | 0,32 a | 0,27 a |
| | | com | 1,11 a | 0,46 a | 0,40 a | 0,47 a | 0,59 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,12 a | 1,03 a | 1,16 a | 0,67 a | 4,96 a |
| | | com | 0,22 a | 0,17 b | 0,15 b | 0,19 a | 0,03 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 9,89 a | 11,52 a | 10,15 a | 7,97 a | 7,88 a |
| | | com | 8,53 a | 8,81 a | 6,17 b | 6,78 a | 8,54 a |
| pH (H ₂ O) | 14,00 | sem | 6,37 a | 5,86 a | 5,24 a | 5,41 a | 5,20 b |
| | | com | 5,50 b | 5,40 b | 5,46 a | 5,42 a | 6,16 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 6,71 a | 4,45 a | 2,61 a | 2,81 a | 1,92 b |
| | | com | 4,54 b | 2,80 b | 2,93 a | 2,15 a | 8,52 a |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 3,13 a | 1,76 a | 0,85 a | 0,67 a | 0,53 b |
| | | com | 1,66 b | 1,09 b | 1,05 a | 0,78 a | 1,41 a |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 0,03 a | 0,04 a | 0,20 a | 0,37 a | 5,20 a |
| | | com | 0,03 a | 0,13 a | 0,05 a | 0,22 a | 0,12 b |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | | sem | 8,09 a | 7,41 a | 8,09 a | 7,30 a | 7,47 a |
| | | com | 9,48 a | 8,29 a | 7,12 a | 5,09 a | 5,61 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 21- Características químicas do solo, em diferentes camadas, em dose única aos 20 meses ou com metade aos 8 meses e a outra metade aos 20 meses em áreas cultivadas com milho e braquiária em consorciação.¹

| Característica | Cultivo | | Parcelamento da aplicação do calcário | Camadas do solo (cm) ¹ | | | | |
|--|---------|---------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Anos | | | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 |
| | 2008/09 | 2009/10 | | | | | | |
| pH (H ₂ O) | Pousio | M + B | sem | 5,03 b | 4,84 b | 4,94 a | 4,99 a | 6,04 a |
| | Pousio | M + B | com | 5,53 a | 5,25 a | 5,28 a | 5,17 a | 5,67 a |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | sem | 1,73 b | 0,94 a | 1,18 a | 1,01 a | 6,16 a |
| | Pousio | M + B | com | 4,00 a | 2,07 a | 1,85 a | 1,59 a | 4,66 b |
| Mg (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | sem | 0,70 a | 0,37 a | 0,38 a | 0,34 a | 1,69 a |
| | Pousio | M + B | com | 1,11 a | 0,46 a | 0,40 a | 0,47 a | 0,59 b |
| Al (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | sem | 0,65 a | 0,99 a | 1,03 a | 0,81 a | 0,00 a |
| | Pousio | M + B | com | 0,22 a | 0,17 b | 0,15 b | 0,19 b | 0,03 a |
| H+Al (cmol _c dm ⁻³) | Pousio | M + B | sem | 8,53 a | 9,52 a | 9,05 a | 8,12 a | 6,53 a |
| | Pousio | M + B | com | 8,52 a | 8,81 a | 6,17 a | 6,78 a | 8,54 a |

¹Em cada característica, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

5 CONCLUSÕES

- a) No primeiro ano, o aumento da dose de calcário aumentou o pH e os teores de cálcio e magnésio e reduziu o teor de alumínio e a acidez potencial do solo, mas esses efeitos diminuíram com a profundidade do solo. No segundo ano, os efeitos dependeram da característica avaliada e da camada de solo considerada;
- b) O aumento da dose de calcário aumentou as concentrações de N, P, K, Ca e Mg, nas folhas do milho no primeiro ano, e o rendimento de grãos do milho nos dois anos;
- c) O aumento da dose de calcário reduziu o rendimento da braquiária consorciada com o milho, nos dois anos, mas aumentou, no segundo ano, o rendimento e os teores de N, P, K, Ca e Mg da braquiária em monocultivo;
- d) A incorporação do calcário, a manutenção da vegetação, a aplicação de gesso e os monocultivos melhoraram o solo;
- e) A incorporação do calcário melhorou o rendimento do milho, mas os efeitos das aplicações integral ou parcelada do calcário dependeram do cultivo anterior;
- f) A manutenção da vegetação foi benéfica para a braquiária, mas a melhor forma de aplicação do calcário para a forrageira dependeu da dose do corretivo.

6 REFERÊNCIAS

ADAMS, F. e RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, n.4, p.686-692, July 1977.

AGNES, E. L.; FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, L. R. Situação atual da integração agricultura-pecuária em Minas Gerais e na Zona da Mata Mineira. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A.; AGNES, E.L. (Eds.). **Manejo integrado: integração agricultura-pecuária**. Viçosa, MG: s.n., p.251-285, 2004.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. e CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, n.6, p.923-934, nov./dez. 2005.

ALVAREZ V.V.H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação**. Viçosa, MG : CFSEMG, p.43-60, 359p., 1999.

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: s.n., p. 314–316, 1999.

AMARAL, A. S.; ANGHINIONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.1, p.115-123, jan./fev. 2004.

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A.; BULL, L.T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p. 145-450, jan./fev. 2001.

BALIEIRO NETO, G.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Impacts of limestone and nitrogen top dressing application on the potassium content in the soil profile and marandu-grass leaf concentration. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.7, p.1170-1175, jul. 2009.

BENETT, C. G. S. et al. Produtividade e composição bromatológica do capim Marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1629-1636, set./out. 2008.

BETENCOURT, E.; DUPUTEL, M.; COLOMB, B.; DESCLAUX, D.; HINSIGER, P. Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.46, n.1, p.181-190, Jan. 2012.

BIANCO, S.; TONHÃO, M. A. R.; PITELLI, R. A. Crescimento e nutrição mineral de capim-braquiária. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.3, p.423-428, jul./set. 2005.

BONINI, C. S. B. e ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.35, n.4, p.1263-1270, jul./ago. 2011a.

BONINI, C. S. B. e ALVES, M. C. Recuperação das propriedades físicas do solo por meio de adubos verdes, calagem, gesso, pastagem e espécies de ocorrência espontânea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.35, n.4, p.1397-1406, jul./ago. 2011b.

BOTREL, M. A.; XAVIER, D. F. Forrageiras para áreas de relevo acidentado. In: CARVALHO, M. M.; ALVIN, M. J. (Eds.). **Pastagens para gado de leite em regiões de influência da Mata Atlântica**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p.25-40, 2000.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos de plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.13, p.3-85, 1974.

BUTTERLY, C.; BALDOCK, J.; TANG, C. Chemical mechanisms of soil pH change by agricultural residues. WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD, 19th. 2010. Brisbane, Australia, 2010. Published on DVD.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.791-798, May 2005.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A. e FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.1, p161-169, jan./fev. 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. 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**, Campinas, v.27, n.2, p.275-286, mar./abr. 2003.

CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an soil under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.5, p.502-509, set./out. 2006.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, n.2, p.315-327, mar./abr. 1999.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.1, p.125-136, jan./fev. 2004.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A.W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.68, n.2, p.209-216, mar./abr. 2011.

CAMERON, R. S.; RITCHIE, G. S. P. e ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, n.5, p.1231-1236, Oct. 1986.

CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J.C. Evaluation of oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.43, n.5, p.533-536, Sept./Oct. 2000.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.583-624, 2001.

COLEMAN, N. T. e THOMAS, G. W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. e ADAMS, F., (Eds.). **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, p.1-41, 1967. (Agronomy Monograph no. 12).

COSTA, A. **Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja-trigo em sistema plantio direto**. 2000. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2000.

COUTINHO, E. L. M.; CONSOLINI, F.; SCATOLIN, M.; RODRIGUES, L. R. A.; NATALE, W. Adubação nitrogenada e potássica em pastagem irrigada de Tifton 68. Efeitos no solo, na planta e na produção de matéria seca. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14; 1999, Pucon (Chile). **Anais...** Pucon: Solo-Suelo [1999]. CD ROM.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. da S.; BICUDO, S. J. ALBUQUERQUE, A. W. de; SANTOS, J.R.; MACHADO, K.G. Nutrição do milho e da Brachiaria decubens cultivados em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, p.733-739, 2008. (Suplemento Especial).

DEFELIPO, B. V. e RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo, metodologia**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 26p., 1997.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.2653-2659, out./dez. 2008. (Número especial)

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 99, p.345-399, 2008.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v.24, n.8, p.1269-1290, Aug. 2001.

FAQUIN, V.; ROSSI, C.; CURI, N. e EVANGE-LISTA, A. R. Nutrição mineral em fósforo, cálcio e magnésio do braquiaraõ em amostras de Latossolo dos Campos das Vertentes sob influência de calagem e fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, n.6, p.1074-1082, nov./dez. 1997.

FEI, W.; JIA-BAO, S.; YUAN-GANG, Z. The influence of larch-soybean intercropping on the growth characteristics of xingan larch plantations in Northeast China. **Eurasian Journal of Forest Research**, Sapporo, v.9, n.2, p.45-50, Dec. 2006.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29 n.2, p.235-247, mar./abr. 2005.

FLORES, J. P. C.; CASSOL L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.6, 2385-2396, nov./dez. 2008.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M. e GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.2, p.459-467, mar./abr. 2000.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMAN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, n.13-14, p.2045-2058, 2003.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.357-360, mar./abr. 2001.

FREIRIA, A. C.; MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; YAGI, M. R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 285-291, abr./jun. 2008.

FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, M. V.; AGNES, E. L.; CARDOSO, A. A.; JAKELAITIS, A. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.1, p.49-58, jan./mar. 2005.

FRIESSEN, D.K.; JUO, A.S.R.; MILLER, M.H. Liming and lime--phosphorus--zinc interactions in two Nigerian Ultisols. I. Interactions in the Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p.1221-1226, Nov./Dec. 1980.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.28, n.4, p.579-585, May 2008.

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; KAMINSKI, J. e RHEINHEIMER, D.S. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.282-290, abr. 2003.

GEIGER, R. Überarbeitete Neuauflage von Geiger, R. Köppen Geiger / **Klima der Erde**. (Wandkarte 1:16 Mill.). – Klett Perthes, Gotha, 1961.

GIMENES, M.J.; VICTORIA FILHO, R.; PRADO, E.P.; POGETTO, M.H.F.A.D.; CHRISTOVAM, R.S. Interferência de espécies forrageiras em consórcio com a cultura do milho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v.15, n.2, p.61-76, 2008.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 451p., 2009. (Biblioteca de Ciências Agrárias, v.15).

GREGO, S.; MOSCATELLI, M.C.; MARINARI, S.; BADALUCCO, L. The influence of liming and natural acidification on chemical and biological processes of an Italian forest soil. **Agrochimica**, Pisa, v.44, n.5-6, p.161-170, Settembre/Dicembre 2000.

HÄUSSLER, K.; RAO, I. M.; SCHULTZE-KRAFT, R.; MARSCHNER, H. Shoot and root growth of two tropical grasses, *Brachiaria ruziziensis* and *B. dictyoneura*, as influenced by aluminium toxicity and phosphorus deficiency in a sandy loam Oxisol of the eastern plains of Colombia. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v.40, p.213-221, Mar. 2006.

HUE, N.V. Alleviating soil acidity with crop residues. **Soil Science**, Madison, v.176, n.10, p.543-549, Oct. 2011.

HUE, N.V.; CRADDOCK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.5, p.28-34, 1986.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.4, p.553-560, out./dez. 2004.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; FREITAS, F. C. L.; VIVIAN, R. Influência de herbicidas e de sistemas de semeadura de *Brachiaria brizantha* consorciada com milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.1, p.59-67, jan./mar. 2005.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, n.4, p.573-580, jul./ago. 2005.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, mar./abr. 2006.

LEITE, G. H. M.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.4, p.685-693, jul./ago., 2006.

LEONEL, F.P.; PEREIRA, J.C.; COSTA, M.G.; MARCO JÚNIOR, P.; LARA, L.A.; QUEIROZ, A.C. Comportamento produtivo e características nutricionais do capim-braquiária cultivado em consórcio com o milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.1, p.177-189, jan. 2009a.

LEONEL, F.P.; PEREIRA, J.C.; COSTA, M.G.; MARCO JÚNIOR, P.; SILVA, C.J.; LARA, L.A. Consórcio capim-brachiária e milho: comportamento produtivo das culturas e características nutricionais e qualitativas das silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.1, p.166-176, jan. 2009b.

LIMA, D. V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R.; CURI, N.; HIGA, N. T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiário e da soja em latossolos sob cerrado da região de Cuiabá-MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.1, p.96-104, jan./fev. 2000.

LIU, J. e HUE, N. V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soils**, Ann Arbor, v.21, n.4, p.264-270, 1996.

LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.4, p.1379-1388, jul./ago. 2008.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.133-146, jul. 2009. Número Especial.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; SCALA JUNIOR, N. L. Influence of liming on residual soil respiration and chemical properties in a tropical no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.36 n.1, p.45-50, jan./fev. 2012.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C. ; e BÜLL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.3, p.553-561, maio/jun. 2003.

MESQUITA, E. E.; FONSECA, D. M.; PINTO, J. C.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; PEREIRA, O. G.; VENEGAS, V. H. A.; MOREIRA, L. M. Estabelecimento de pastagem consorciada com aplicação de calcário, fósforo e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.2, p 428-436, mar./abr. 2004.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T.A. e GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.563-572, jun. 2005.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.45, n.3, p.251-256, Sept. 2002.

NARAMBUYE, F. X.; HAYNES, R. J. Effect of organic amendments on soil pH and Al solubility and uses of laboratory indices to predict their liming effect. **Soil Science**, Madison, v.171, n.10, p.754-763, Oct. 2006.

NASCIMENTO, M. C.; RIVA, R. D. D.; CHAGAS, C. S.; OLIVEIRA, H.; DIAS, L. E.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOARES, V. P. Uso de imagens do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.196-202, mar. 2006.

NATALE, W. PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, nov./dez. 2007.

NAVA, G.; ERNANI, P. R.; SÁ, A. A. de; PEREIRA, A. J. Soil composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.36 n.1, p.215-222, jan./fev. 2012.

NOBLE, A.D.; RANDALL, P.J. e JAMES, T.R. Evaluation of two coal derived organic products in ameliorating surface and subsurface soil acidity. **European Journal of Soil Science**, Cranfield, v.46, n.1, p.65-75, Mar. 1995.

OELBERMANN, M.; ECHARTE, L. Evaluating soil carbon and nitrogen dynamics in recently established maize-soybean inter-cropping systems. **European Journal of Soil Science**, Cranfield, v.62, n.1, p.35-41, Feb. 2011.

OLIVEIRA, E.L. e PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, n.1-2, p.47-57, Aug. 1996.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S. e COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 21, n.1, p.65-70, jan./fev. 1997.

OLIVEIRA, P.P.A.; OLIVEIRA, W.S.; CORSI, M. Efeito residual de fertilizantes fosfatados solúveis na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.6, p.1715-1728, jun. 2007.

PÁDUA, T. R. P.; SILVA, C. A.; MELO, L. C. A. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.5, p.869-878, set./out. 2006.

PASSOS, R.R.; FAQUIN, V.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R.; VILLA, M.R. Fontes de fósforo, calcário e gesso na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas forrageiras em amostras de um Latossolo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, n.2, p.227-233, mar./abr. 1997.

PAULETTI, V.; SERRAT, B.M.; MOTTA, A.C.V.; NERILDE, F.; ANJOS, A. Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.53, n.3, p. 563-574, May/June 2010.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. e PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.1, p.33-38, Jan. 1984.

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de brachiaria em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, jul. 2000.

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

RAMPIM, L.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.35, n.5, p.1687-1698, set./out. 2011.

REEVE, N.G. e SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochimica**, Pretoria, v.4, n.1, p.1-6, 1972.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.4, p.797-805, jul./ago. 2000.

RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. Estabelecimento de outras forrageiras em áreas de *Brachiaria* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p. 299- 325, 1994.

ROSSI, C.; FAQUIRI, V.; CURTI, N.; EVANGELISTA, A.R. Calagem e fontes de fósforo na produção do braquiarião e níveis críticos de fósforo em amostra de Latossolos dos Campos das Vertentes (MG). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.26, n.6, p.1083-1089, nov./dez. 1997.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. I - Implicações sobre a cultura do milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.4, p.589-596, out./dez. 2005.

SHARMA, S.P.; SUBEHIA, S.K. Effects of twenty-five years of fertilizer use on maize and wheat yields and quality of an acidic soil in the Western Hymalayas. **Experimental Agriculture**, Collingwood, v.39, n.1, p.55-64, Jan. 2003.

SILVA, A.F.; SANTANA, L.M.; FRANÇA, C.R.R.S.; MAGALHÃES, A.S.; ARAÚJO, C.R.; AZEVEDO, S.G. Produção de diferentes variedades de mandioca em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.1, p.33-38, jan./fev. 2009.

SINGH, L.; PAL, U.R.; ARORA, Y. Direct and residual effect of liming on yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) in moderately acid soils in the savanna zone of Nigeria. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.12, n.1, p.11-20, Jan. 1987.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos de aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.2, p.715-725, mar./abr. 2008.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; LIMA SOBRINHO, R. R.; OLIVEIRA, E. A. B. Influência de esterco bovino e calcário sobre o efeito residual da adubação fosfatada para a *Brachiaria brizantha* cultivada após o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.34, n.1, p.143-150, jan./fev. 2010.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p., 1995.

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeito da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.405-413, dez. 2004.

VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A.; GUILHERME, L. R. G.; FURTINI NETO, A. E. **Manejo da fertilidade do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 206p., 1997.

VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; MOREIRA, L.M.; FAGUNDES, J.L.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; PEREIRA, A.L. Rendimento e composição química do capim-braquiária introduzido em pastagem degradada de capim-gordura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.2, p.2107-2114, fev. 2008.

WANG, L.; BUTTERLY, C.R.; YANG, X.L.; WANG, Y.; HERATH, H.M.S. K.; JIANG, X. Use of crop residues with alkaline slag to ameliorate soil acidity in an Udisol. **Soil Use and Management**, Cranfield, v.28, n.2, p.148-156, June 2012.

WEIRICH NETO, P. H.; BUZOLINI JR, O.; ROCHA, J. V. DA; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B. Variabilidade espacial do teor de areia, utilizando-se diferentes métodos de interpolação. In: FERTBIO, 1., 2000. Santa Maria, **Anais...** Santa Maria, SBCS/SBM/UFSM, 2000. CD-ROM.

XU, J.M.; TANG, C.; CHEN, Z.L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.38, n.4, p.709-719, Apr. 2006.

ZAMBROSI, F. C. B. ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.487-495, jul./set. 2007.

7 APÊNDICE

Anexo A- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados nutricionais na folha (estádio V4) do milho do ANO-1 (2008/2009):

| FONTE DE VARIACÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | |
| Bloco | 2 | 6,080985 | 0,05766385 | 16,29544 | 9,673218 | 0,2715121 | |
| Tratamento | 11 | 19,06832* | 0,1260964* | 13,73148 | 2,526775 | 16,54986 | |
| Resíduo | 22 | 5,296611 | 0,2152393 | 18,22643 | 1,351016 | 7,480117 | |
| Coeficiente de Variação (%) | | 18,4 | 42,0 | 23,3 | 18,9 | 37,8 | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,375 | 0,375* | 0,375 | 0,375 | 0,375 |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,375 | 0,375* | 0,375 | 0,375 | 0,375 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,318 | 0,026 | 14,48 | 5,411 | 12,31 |
| | 4 versus 10 | 1 | 23,72* | 0,080 | 14,483 | 1,5332 | 3,26 |
| | 4 versus 11 | 1 | 10,733 | 0,004 | 0,258 | 5,343 | 11,833 |
| | 4 versus 13 | 1 | 6,038 | 0,025 | 34,053 | 0,00004 | 1,225 |
| Regressões (modelo) | | | <i>Quadrática</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| | Regressão | 1 | 22,1657* | 0,1764* | 11,8437* | 2,3151* | 30,8753* |
| | Resíduo | 4 | 1,2676 | 0,0008 | 0,3379 | 0,1044 | 0,3098 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 20,4 | 49,2 | 22,7 | 18,45 | 35,43 | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo B- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de produtividade de grão de milho do ANO-1 (2008/2009):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Bloco | 2 | 1762389 |
| Tratamento | 11 | 4522963* |
| Resíduo | 22 | 620547,4 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 28,9 |
| Contrastes | 2 versus 15 | 2296872,1 |
| | 3 versus 16 | 2058425,9 |
| | 4 versus 12 | 199797,8 |
| | 4 versus 10 | 2348941,1 |
| | 4 versus 11 | 1822004,5 |
| | 4 versus 13 | 72354,7 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 13199460,1* |
| Resíduo | 4 | 42803,4 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 20,4 |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo C- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de produção de biomassa seca de braquiária do ANO-1 (2008/2009):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Bloco | 2 | 419730,4 |
| Tratamento | 11 | 15009240* |
| Resíduo | 22 | 423537,5 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 7,5 |
| Contrastes | 2 versus 15 | 31676800,0* |
| | 3 versus 16 | 373093,7 |
| | 4 versus 12 | 3199849,8* |
| | 4 versus 10 | 23453509,6* |
| | 4 versus 11 | 47588,5 |
| | 4 versus 14 | 23032827,4* |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 10203612,6* |
| Resíduo | 4 | 131183,9 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 5,5 |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo D- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de pH (H₂O) no solo, 8 meses após aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-1 (junho/2009):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | pH (H ₂ O) | | | | |
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm |
| Bloco | 2 | | | 0,6088650 | | |
| Tratamento | 11 | | | 1,229634* | | |
| Erro (a) | 22 | | | 0,1534668 | | |
| CV (a) (%) | 7,8 | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 3,336183* | | |
| Erro (b) | 8 | | | 0,1391817 | | |
| CV (b) (%) | 7,4 | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 44 | | | 0,1138489* | | |
| Resíduo | 88 | | | 0,05025167 | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 4,5 | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Contrastes | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Regressões (modelo) | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 1,9993* | 0,8088* | 0,3249* | 0,2995* | 0,1803* |
| Resíduo | 4 | 0,0232 | 0,0176 | 0,0050 | 0,0057 | 0,0068 |
| Coeficiente de Variação (%) | 6,5 | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo E- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Ca²⁺ no solo, 8 meses após aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-1 (junho/2009):

| FONTE DE VARIÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS Ca ²⁺ | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 3,181074 | | | |
| Tratamento | 11 | | | 6,714441* | | | |
| Erro (a) | 22 | | | 0,8079563 | | | |
| CV (a) (%) | 69,1 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 28,02473* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 1,540391 | | | |
| CV (b) (%) | 95,5 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 44 | | | 0,5721729 | | | |
| Resíduo | 88 | | | 0,3930850 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 48,1 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,17002 | 0,29 | 0,007 | 0,00135 | 0,0641 |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,53402 | 0,1233 | 0,14415 | 0,57 | 0,2563 |
| | 4 versus 12 | 1 | 2,8291* | 1,3633 | 0,52215 | 0,016 | 0,00375 |
| | 4 versus 10 | 1 | 3,57282* | 1,084 | 0,4483 | 1,144 | 0,66 |
| | 4 versus 11 | 1 | 3,98535* | 4,084* | 1,6748* | 1,17 | 0,64 |
| | 4 versus 13 | 1 | 0,60802 | 5,7624* | 3,1828* | 3,527* | 3,2561* |
| | 4 versus 14 | 1 | 5,06* | 1,224 | 0,2243 | 0,22 | 0,2091 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 7,8378* | 5,0655* | 2,8361* | 1,3122* | 1,2101* | |
| Resíduo | 4 | 0,2113 | 0,0143 | 0,0659 | 0,0249 | 0,0219 | |
| Coeficiente de Variação (%) | 62,8 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo F- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Mg^{2+} no solo, 8 meses após aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-1 (junho/2009):

| FONTE DE VARIACÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Mg^{2+} | | | | | |
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 0,2646439 | | | |
| Tratamento | 11 | | | 1,291975* | | | |
| Erro (a) | 22 | | | 0,2455603 | | | |
| CV (a) (%) | 91,8 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 5,443690* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 0,1835043 | | | |
| CV (b) (%) | 79,3 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 44 | | | 0,1453958* | | | |
| Resíduo | 88 | | | 0,05659264 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 43,8 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,03527 | 0,0384 | 0,0017 | 0,000017 | 0,00282 |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,81402* | 0,002 | 0,00082 | 0,04 | 0,01127 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,51042* | 0,51* | 0,135 | 0,0228 | 0,02042 |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,33135* | 0,1233 | 0,0353 | 0,077 | 0,04335 |
| | 4 versus 11 | 1 | 0,96* | 0,4213* | 0,18375 | 0,1473 | 0,10935 |
| | 4 versus 13 | 1 | 0,17 | 0,45375* | 0,1667 | 0,0913 | 0,07935 |
| | 4 versus 14 | 1 | 1,63282* | 0,37* | 0,0417 | 0,027 | 0,01927 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | | 3,4709* | 1,1544* | 0,2542* | 0,3559* | 0,3099* |
| Resíduo | 4 | | 0,0585 | 0,0272 | 0,0058 | 0,0069 | 0,0194 |
| Coeficiente de Variação (%) | 72,4 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo G- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Acidez Trocável (Al^{3+}) no solo, 8 meses após aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-1 (junho/2009):

| FONTE DE VARIÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Acidez Trocável (Al^{3+}) | | | | | |
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 0,8596156 | | | |
| Tratamento | 11 | | | 1,745731* | | | |
| Erro (a) | 22 | | | 0,241684 | | | |
| CV (a) (%) | 65,6 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 2,941206* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 0,1082864 | | | |
| CV (b) (%) | 43,9 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 44 | | | 0,1355840 | | | |
| Resíduo | 88 | | | 0,1103731 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 44,3 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,0417 | 0,0417 | 0,027 | 0,00735 | 0,006 |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,0267 | 0,06 | 0,06 | 0,244 | 0,027 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,015 | 0,1667 | 0,015 | 0,20535 | 0,015 |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,0067 | 0,006 | 0,38 | 0,0017 | 0,205 |
| | 4 versus 11 | 1 | 0,015 | 0,24 | 0,135 | 0,0417 | 0,007 |
| | 4 versus 13 | 1 | 0,015 | 0,54* | 0,889* | 0,027 | 0,007 |
| | 4 versus 14 | 1 | 0,015 | 0,132 | 0,079 | 0,015 | 0,042 |
| Regressões (modelo) | | | <i>Exponencial</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | | 1,9586* | 1,9497* | 0,8547* | 0,36* | 0,3324* |
| Resíduo | 4 | | 0,0039 | 0,0184 | 0,0167 | 0,0094 | 0,0202 |
| Coeficiente de Variação (%) | 49,8 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo H- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Acidez Potencial (H + Al) no solo, 8 meses após aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-1 (junho/2009):

| FONTE DE VARIÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS Acidez Potencial (H + Al) | | | | | |
|------------------------------|--------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 4,288667 | | | |
| Tratamento | 11 | | | 9,399697* | | | |
| Erro (a) | 22 | | | 4,293818 | | | |
| CV (a) (%) | 23,4 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 51,57675* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 3,147 | | | |
| CV (b) (%) | 20,0 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 44 | | | 2,457235 | | | |
| Resíduo | 88 | | | 1,411394 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 13,4 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,015 | 0,027 | 0,24 | 0,4817 | 0,0017 |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,882 | 1,215 | 1,71 | 0,327 | 0,4817 |
| | 4 versus 12 | 1 | 19,44* | 14,11* | 0,81 | 1,4017 | 2,4067 |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,482 | 0,427 | 0,482 | 0,107 | 0,1067 |
| | 4 versus 11 | 1 | 1,927 | 2,802 | 1,042 | 0,54 | 1,6017 |
| | 4 versus 13 | 1 | 4,507 | 9,882* | 1,127 | 0,2017 | 0,06 |
| | 4 versus 14 | 1 | 27,31* | 12,91* | 0,667 | 2,8017 | 1,5 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 28,0218* | 8,5055* | 2,5089* | 1,2590* | 1,0414* | |
| Resíduo | 4 | 0,0281 | 0,2734 | 0,0510 | 0,0223 | 0,0174 | |
| Coeficiente de Variação (%) | 18,2 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo I- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de produtividade de grãos de milho do ANO-2 (2009/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Bloco | 2 | 2298438 |
| Tratamento | 14 | 4587629* |
| Resíduo | 28 | 715341,7 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 34,2 |
| Contrastes | 2 versus 15 | 125393,98 |
| | 3 versus 16 | 28896,65 |
| | 4 versus 12 | 5944572,57* |
| | 4 versus 10 | 12798,45 |
| | 4 versus 11 | 2447512,95 |
| | 4 versus 13 | 1569907,46 |
| | 4 versus 7 | 248971,17 |
| | 4 versus 8 | 6352245,18* |
| 6 versus 9 | 1331412,25 | |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 8826233,7* |
| Resíduo | 4 | 55084,8 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 19,4 |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo J- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de produção de biomassa seca da braquiária consorciada com milho do ANO-2 (2009/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Bloco | 2 | 770808,5 |
| Tratamento | 14 | 2302077* |
| Resíduo | 28 | 376470,4 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 22,9 |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1819969,15* |
| | 3 versus 16 | 6384758,38* |
| | 4 versus 12 | 660199,44 |
| | 4 versus 10 | 77758,03 |
| | 4 versus 11 | 45750,29 |
| | 4 versus 14 | 922574,35 |
| | 4 versus 7 | 1937261,8* |
| | 4 versus 8 | 9473417,1* |
| 6 versus 9 | 477621,49 | |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | <i>Quadrática</i> |
| Regressão | 1 | 1382535,51* |
| Resíduo | 4 | 117387,82 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 19,1 |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo K- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados nutricionais na parte aérea da braquiária consorciada com milho do ANO-2 (2009/20010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | |
| Bloco | 2 | 0,517529 | 0,00195334 | 2,840706 | 0,0496882 | 152,8226 | |
| Tratamento | 14 | 3,770583 | 0,3260168* | 97,01801* | 0,4813479 | 1,811752 | |
| Resíduo | 28 | 4,299079 | 0,05793293 | 2,151065 | 0,2903358 | 2,047738 | |
| Coeficiente de Variação (%) | | 20,9 | 20,4 | 11,4 | 22,2 | 41,9 | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,763267 | 0,0486 | 113,535* | 0,5521 | 0,71415 |
| | 3 versus 16 | 1 | 1,6224 | 0,09627 | 255,453* | 0,0204 | 1,47015 |
| | 4 versus 12 | 1 | 2,587267 | 0,0384 | 37,051* | 0,3037 | 0,00735 |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,53402 | 0,16667 | 70,042* | 0,735 | 0,0486 |
| | 4 versus 11 | 1 | 1,91535 | 0,02802 | 78,844* | 0,4648 | 0,0384 |
| | 4 versus 14 | 1 | 2,60042 | 0,02282 | 23,207* | 0,4648 | 0,2817 |
| | 4 versus 7 | 1 | 2,87042 | 0,22815 | 124,579* | 1,0923 | 0,24 |
| | 4 versus 8 | 1 | 0,62082 | 0,493067* | 187,824* | 0,0267 | 0,0308 |
| | 6 versus 9 | 1 | 1,61202 | 0,00007 | 216,48* | 0,1233 | 7,3926 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Quadrática</i> | <i>Linear</i> |
| | Regressão | 1 | 9,1674* | 0,6458* | 280,7789* | 0,1167 * | 5,1015* |
| | Resíduo | 4 | 0,1484 | 0,0170 | 2,8987 | 0,0092 | 0,1016 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 13,6 | 23,5 | 10,6 | 20,0 | 53,4 | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo L- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de produção de biomassa seca da braquiária do ANO-2 (2009/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Bloco | 2 | 57613,83 |
| Tratamento | 11 | 4892446 |
| Resíduo | 22 | 1424949 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 13,1 |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1744531,18 |
| | 3 versus 16 | 13206,89 |
| | 4 versus 12 | 1320688,92 |
| | 4 versus 10 | 726694,27 |
| | 4 versus 11 | 339280 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | 14137848,22 |
| Resíduo | 4 | 36525,18 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 7,1 |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo M- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados nutricionais na parte aérea da braquiária do ANO-2 (2009/2010):

| FONTE DE VARIACÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | |
| Bloco | 2 | 27,189 | 0,0098 | 0,0396 | 0,411 | 0,355 | |
| Tratamento | 11 | 6,389 | 0,177* | 19,194 | 1,235 | 2,698 | |
| Resíduo | 22 | 5,777 | 0,6015 | 10,703 | 1,377 | 1,469 | |
| Coeficiente de Variação (%) | | 23,9 | 19,8 | 48,8 | 24,4 | 33,0 | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,0072 | 0,0079 | 9,2688 | 0,0472 | 0,0438 |
| | 3 versus 16 | 1 | 6,1759 | 0,0193 | 0,0644 | 0,0998 | 0,505 |
| | 4 versus 12 | 1 | 6,6042 | 0,0704 | 78,8489* | 1,309 | 0,057 |
| | 4 versus 10 | 1 | 12,863 | 0,015 | 43,5117 | 0,2471 | 3,427 |
| | 4 versus 11 | 1 | 0,5391 | 0,1258 | 14,4824 | 1,7281 | 1,596 |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Exponencial</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| | Regressão | 1 | 10,39* | 0,341* | 5,746* | 2,235* | 6,718* |
| | Resíduo | 4 | 0,277 | 0,023 | 0,585 | 0,033 | 0,213 |
| Coeficiente de Variação (%) | | 16,0 | 20,0 | 33,3 | 19,9 | 26,4 | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo N- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de pH (H₂O) no solo, 8 e 20 meses após a aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-2 (junho/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | pH (H ₂ O) | | | | | |
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 0,0521 | | | |
| Tratamento | 15 | | | 0,96* | | | |
| Erro (a) | 30 | | | 0,0925 | | | |
| CV (a) (%) | 5,9 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 1,689* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 0,247 | | | |
| CV (b) (%) | 3,1 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 60 | | | 0,169 | | | |
| Resíduo | 120 | | | 0,0556* | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 4,6 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,05227 | 0,02535 | 0,00027 | 0,0054 | 0,46482* |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,132 | 0,010417 | 0,00135 | 0,050417 | 0,01927 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,00027 | 0,008817 | 0,2817* | 0,000067 | 0,35042* |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,2243* | 0,00107 | 0,0353 | 0,0131 | 0,96* |
| | 4 versus 11 | 1 | 0,24* | 0,00027 | 0,00042 | 0,0011 | 0,52807* |
| | 4 versus 13 | 1 | 0,118 | 0,30375* | 0,00735 | 0,00107 | 1,25127* |
| | 4 versus 14 | 1 | 0,025 | 0,0294 | 0,0294 | 0,00735 | 0,02282 |
| | 4 versus 7 | 1 | 0,277* | 0,000067 | 0,01127 | 0,002017 | 1,7496 |
| | 4 versus 8 | 1 | 0,006 | 0,24* | 0,27735* | 0,0726 | 0,74907 |
| 6 versus 9 | 1 | 1,127* | 0,31282* | 0,07482 | 0,000017 | 1,3824* | |
| Regressões (modelo) | | | Linear | Linear | Linear | Linear | Linear |
| Regressão | 1 | 1,5947* | 0,8786* | 0,2279* | 0,2293* | 0,1676* | |
| Resíduo | 4 | 0,0138 | 0,0437 | 0,0021 | 0,0104 | 0,0040 | |
| Coeficiente de Variação (%) | | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo O- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Ca²⁺ no solo, 8 e 20 meses após a aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-2 (junho/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS Ca ²⁺ | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 0,785 | | | |
| Tratamento | 15 | | | 16,07* | | | |
| Erro (a) | 30 | | | 0,89 | | | |
| CV (a) (%) | 47,4 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 46,49* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 1,13 | | | |
| CV (b) (%) | 53,3 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 60 | | | 4,46* | | | |
| Resíduo | 120 | | | 0,62 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 39,4 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,28026 | 0,050646 | 0,0047 | 0,0576 | 12,047* |
| | 3 versus 16 | 1 | 3,5849* | 0,04111 | 0,02289 | 0,110365 | 0,0044 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,57372 | 0,104188 | 0,23297 | 0,05742 | 29,244* |
| | 4 versus 10 | 1 | 3,3221* | 0,05142 | 0,75945 | 0,0394 | 25,76* |
| | 4 versus 11 | 1 | 1,1967 | 0,0128 | 1,07522 | 0,1704 | 18,1954* |
| | 4 versus 13 | 1 | 3,8983* | 0,0434 | 0,42958 | 0,1359 | 52,5523* |
| | 4 versus 14 | 1 | 0,25846 | 0,0086 | 0,43014 | 0,00064 | 2,8279* |
| | 4 versus 7 | 1 | 4,32226* | 0,09394 | 0,27484 | 0,00052 | 44,9815* |
| | 4 versus 8 | 1 | 0,4894 | 1,161336 | 1,8117 | 0,52917 | 23,788* |
| 6 versus 9 | 1 | 7,1044* | 4,050406* | 0,1555 | 0,6487 | 65,3494* | |
| Regressões (modelo) | | | Linear | Linear | Linear | Linear | Linear |
| Regressão | 1 | | 22,7639* | 10,0492* | 3,9007* | 4,3258 * | 2,5538* |
| Resíduo | 4 | | 0,2588 | 0,3533 | 0,0990 | 0,0720 | 0,0471 |
| Coeficiente de Variação (%) | 31,6 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo P- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Mg²⁺ no solo, 8 e 20 meses após a aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-2 (junho/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS Mg ²⁺ | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 0,31 | | | |
| Tratamento | 15 | | | 1,46* | | | |
| Erro (a) | 30 | | | 0,11 | | | |
| CV (a) (%) | 53,5 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 4,82* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 0,065 | | | |
| CV (b) (%) | 41,3 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 60 | | | 0,49* | | | |
| Resíduo | 120 | | | 0,075 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 43,5 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 0,06146 | 0,025043 | 0,00045 | 0,02567 | 1,7639* |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,18559 | 0,01936 | 0,0019 | 0,02052 | 0,0008 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,00077 | 0,00473 | 0,00836 | 0,02119 | 1,538* |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,34237* | 0,060313 | 0,018426 | 0,00122 | 3,2029* |
| | 4 versus 11 | 1 | 0,236017 | 0,02843 | 0,04686 | 0,007722 | 0,894* |
| | 4 versus 13 | 1 | 1,1665* | 0,10359 | 0,00308 | 0,00243 | 3,898* |
| | 4 versus 14 | 1 | 0,023157 | 0,04464 | 0,02145 | 0,000041 | 0,3449* |
| | 4 versus 7 | 1 | 0,393472* | 0,02001 | 0,0081 | 0,000556 | 3,0413* |
| | 4 versus 8 | 1 | 0,01581 | 0,0013 | 0,01419 | 0,03776 | 0,1578 |
| 6 versus 9 | 1 | 3,23364* | 0,6668* | 0,0576 | 0,01785 | 1,1446* | |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | | 4,5131* | 1,2110* | 0,4091* | 0,1901* | 0,1637* |
| Resíduo | 4 | | 0,0778 | 0,0999 | 0,0053 | 0,0025 | 0,0011 |
| Coeficiente de Variação (%) | 37,7 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo Q- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Acidez Trocável (Al^{3+}) no solo, 8 e 20 meses após a aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-2 (junho/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS Acidez Trocável (Al^{3+}) | | | | | |
|------------------------------|--------------------|---|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 0,91 | | | |
| Tratamento | 15 | | | 2,44* | | | |
| Erro (a) | 30 | | | 0,193 | | | |
| CV (a) (%) | 59,4 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 2,35* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 0,073 | | | |
| CV (b) (%) | 36,5 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 60 | | | 0,234* | | | |
| Resíduo | 120 | | | 0,13 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 48,7 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 1,122753* | 0,13968 | 0,0548 | 0,2041 | 0,33534 |
| | 3 versus 16 | 1 | 0,29389 | 0,0256 | 0,028354 | 0,0142 | 0,00546 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,42107 | 0,0627 | 0,24289 | 0,1026 | 0,6348* |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,405236 | 0,162 | 0,68145* | 0,0713 | 0,6089* |
| | 4 versus 11 | 1 | 0,3948 | 0,085 | 0,18596 | 0,00675 | 0,5587* |
| | 4 versus 13 | 1 | 0,87683* | 0,1336 | 0,5405* | 0,0405 | 0,6546* |
| | 4 versus 14 | 1 | 0,00702 | 0,12187 | 0,0114 | 0,00083 | 0,0195 |
| | 4 versus 7 | 1 | 0,41576 | 0,00169 | 0,024356 | 0,0312 | 0,68825* |
| | 4 versus 8 | 1 | 0,013224 | 1,1054* | 1,50795* | 0,34976 | 36,4544* |
| | 6 versus 9 | 1 | 0,0000675 | 0,01418 | 0,03416 | 0,032655 | 38,8* |
| Regressões (<i>modelo</i>) | | | <i>Exponencial</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> | <i>Linear</i> |
| Regressão | 1 | | 1,1823* | 2,2283* | 1,7553* | 0,6422* | 0,6422* |
| Resíduo | 4 | | 0,0145 | 0,0172 | 0,0114 | 0,0091 | 0,0091 |
| Coeficiente de Variação (%) | 40,3 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Anexo R- Quadro de análise de variância, regressões e contrastes referentes aos dados de Acidez Potencial (H + Al) no solo, 8 e 20 meses após a aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades do ANO-2 (junho/2010):

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS Acidez Potencial (H + Al) | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | |
| Bloco | 2 | | | 31,868 | | | |
| Tratamento | 15 | | | 24,595* | | | |
| Erro (a) | 30 | | | 6,71 | | | |
| CV (a) (%) | 27,1 | | | | | | |
| Profundidade | 4 | | | 72,857* | | | |
| Erro (b) | 8 | | | 6,285 | | | |
| CV (b) (%) | 26,6 | | | | | | |
| Tratamento X Profundidade | 60 | | | 4,667 | | | |
| Resíduo | 120 | | | 4,597 | | | |
| Coeficiente de Variação (%) | 22,8 | | | | | | |
| Contrastes | 2 versus 15 | 1 | 4,5968* | 4,94133 | 0,7551 | 1,20557 | 11,756 |
| | 3 versus 16 | 1 | 4,8223 | 6,31298 | 3,23474 | 2,836 | 0,0919 |
| | 4 versus 12 | 1 | 0,11802 | 0,1526 | 0,0219 | 0,0588 | 1,503 |
| | 4 versus 10 | 1 | 0,98051 | 0,26903 | 7,00812 | 1,4865 | 8,5073 |
| | 4 versus 11 | 1 | 3,1147 | 0,7204 | 0,44472 | 0,632 | 0,549 |
| | 4 versus 13 | 1 | 0,6106 | 0,0164 | 0,25523 | 0,0382 | 0,5195 |
| | 4 versus 14 | 1 | 1,0761 | 8,004 | 0,08389 | 2,176 | 27,2534* |
| | 4 versus 7 | 1 | 3,6598 | 6,012 | 1,815 | 0,0331 | 2,724 |
| | 4 versus 8 | 1 | 2,8133 | 10,984 | 23,7845* | 2,137 | 0,6534 |
| 6 versus 9 | 1 | 2,90441 | 1,1616 | 1,38961 | 7,3693 | 5,184 | |
| Regressões (modelo) | | | Linear | Linear | Linear | Linear | Linear |
| Regressão | 1 | | 12,3601* | 21,0849* | 14,2631* | 6,3251* | 1,7602* |
| Resíduo | 4 | | 0,1622 | 0,2520 | 0,1649 | 0,1333 | 0,1743 |
| Coeficiente de Variação (%) | 26,9 | | | | | | |

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.