

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM FUNÇÃO DO
SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE
SILICATO E CALCÁRIO**

GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP

Fevereiro - 2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM FUNÇÃO DO
SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE
SILICATO E CALCÁRIO**

GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP

Fevereiro – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Castro, Gustavo Spadotti Amaral, 1983-
C355a Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário / Gustavo Spadotti Amaral Castro. - Botucatu : [s.n.], 2009.
xiii, 135 f. : gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Inclui bibliografia.

1. Solos - Correção. 2. Rotação de cultivos. 3. Silício. 4. Física do solo. 5. Produção agrícola - Custo operacional. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

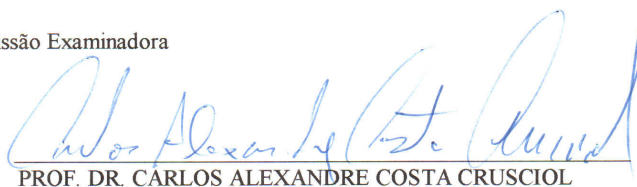
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM FUNÇÃO DO
SISTEMA DE PRODUÇÃO E DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE
SILICATO E CALCÁRIO”**

ALUNO: GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL



PROF. DR. HEITOR CANTARELLA



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Data da Realização: 17 de fevereiro de 2009.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Gustavo Spadotti Amaral Castro, filho de Sérgio Amaral Castro e Luzia Spadotti Amaral Castro, nasceu na cidade de Botucatu, estado de São Paulo, no dia 05 de maio de 1983.

Diplomou-se em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Botucatu, em 2005.

Em agosto de 2006, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia área de concentração Agricultura, no Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Botucatu.

Aos meus pais, Sérgio e Luzia

Aos meus irmãos Tharsila e Sérgio

Ao meu cunhado Renato e minha sobrinha Stéphanie

DEDICO

À toda minha família,

e a todos meus amigos do coração

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

DEUS.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela orientação e exemplo durante todos estes anos de ensinamentos e grande amizade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas, pela melhor formação agronômica existente para o curso de Graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos durante o curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura, pela atenção, disponibilidade e ensinamentos.

À coordenação do curso de Pós Graduação em Agricultura, pela dedicação e qualidade de ensino.

À Seção de Pós Graduação, em especial à Marilena, Marlene e Jacqueline.

À RECMIX e AGRONELI pela doação do silicato utilizado no trabalho.

Aos Doutores Êmerson Borghi, Rogério Peres Soratto, Juliano Carlos Calonego e Rubia Renata Marques pela grande amizade e ensinamento acadêmico.

Aos meus amigos da época de graduação de hoje e de sempre Eduardo Gazola (Chapolin), Fernando A. dos Santos (Markito), Rodrigo A. Garcia (Bulbo), Alexandre Merlin (Atchim), Rafael C. Nardini (Karnak), Leonard Tedeschi (Dino), Mariana Z. Toledo (Tchutchuca), Tatiana Maria Gonçalves

Aos amigos e colegas do curso de Pós Graduação da Agricultura.

Aos estagiários e amigos Jayme Ferrari Neto (Magrão), Claudio Hideo Martins da Costa (Kagaro), Maurício Mancuso (Taiada), Marcella Menegale (Canola), Eduardo Benedeti (Carçado) e os demais colaboradores pelo auxílio nos experimentos.

Aos meus pais pelo exemplo de vida e de perseverança.

Aos meus irmãos, cunhado e sobrinha pela alegria de vida.

À todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMO.....	XI
SUMMARY.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1. Correção e corretivos do solo em Sistema Plantio Direto.....	5
3.2. O Silício.....	8
3.2.1. Silício no solo.....	8
3.2.2. Silício nas plantas.....	9
3.3. Rotação de culturas para regiões de inverno seco.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1. Localização e caracterização da área.....	16
4.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	18
4.3 Caracterização dos corretivos de acidez do solo	20
4.4. Instalação, condução e avaliações do experimento	20
4.4.1. Culturas de verão – Safra	20
4.4.1.1 Soja	20
4.4.1.2 Milho.....	22
4.4.2 Culturas de safrinha.....	24
4.4.2.1 Aveia branca.....	24
4.4.2.2 Feijão.....	26
4.4.3 Adubos verdes/Plantas de cobertura.....	27
4.4.3.1 Milheto.....	27
4.4.3.2 Guandu.....	28
4.4.4 Forrageira perene - <i>Brachiaria ruziziensis</i>	30
4.4.4.1 Soja – Braquiária.....	30
4.4.4.2 Milho – Braquiária.....	30

4.4.5 Características químicas do solo.....	31
4.4.6 Características físicas do solo.....	31
4.4.7 Custo de produção.....	33
4.5. Análise estatística.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Características físicas do solo.....	35
5.1.1 Densidade, porosidade e estabilidade dos agregados do solo.....	35
5.1.2 Resistência à penetração.....	39
5.2 Características químicas do solo.....	40
5.2.1 Seis meses após a aplicação dos corretivos.....	40
5.2.2 Doze meses após a aplicação dos corretivos.....	47
5.2.3 Dezoito meses após a aplicação dos corretivos.....	64
5.3 Produção de matéria seca, nutrição, componentes da produção e produtividade de grãos.....	81
5.3.1 Safra 2007/08.....	81
5.3.1.1 Soja.....	81
5.3.1.2 <i>Brachiaria ruziziensis</i>	86
5.3.1.3 Aveia branca.....	88
5.3.1.4 Milheto.....	92
5.3.2 Safra 2008/09.....	94
5.3.2.1 Milho.....	95
5.3.2.2 <i>Brachiaria ruziziensis</i>	100
5.3.2.3 Feijão.....	102
5.3.2.4 Guandu.....	105
5.4 Análise econômica.....	108
6. CONCLUSÕES.....	111
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	113
8. APÊNDICE.....	128

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Características químicas iniciais do solo avaliadas de 0 a 0,60m de profundidade.....	17
TABELA 2.	Caracterização física do solo da área experimental quando a textura.....	17
TABELA 3.	Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo por ocasião da caracterização da área experimental.....	17
TABELA 4.	Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac) do solo, por ocasião da caracterização da área experimental.....	17
TABELA 5.	Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0-0,10 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	36
TABELA 6.	Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,10-0,20 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	37
TABELA 7.	Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,20-0,40 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	38
TABELA 8.	Teores de macronutrientes e de silício na folha diagnose da cultura da soja em função da aplicação corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	82
TABELA 9.	População final, matéria seca, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos da cultura da soja em função da aplicação corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008)...	85
TABELA 10.	Teores de macronutrientes, de silício e produção de matéria seca da <i>Brachiaria ruziziensis</i> , semeada após a cultura da soja, em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	86
TABELA 11.	Teores de macronutrientes e de silício da cultura da aveia branca em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).	89
TABELA 12.	Matéria seca, número de panículas por metro quadrado, numero de grãos por panícula, massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da aveia em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).	90
TABELA 13.	Teores de macronutrientes e de silício da cultura do milho em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	93

TABELA 14. Produção de matéria seca do primeiro e segundo corte e produção de matéria seca total da cultura do milho em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	94
TABELA 15. Teores de macronutrientes e de silício na folha diagnose da cultura do milho em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).	96
TABELA 16. População final, matéria seca, número de grãos por espiga, massa de cem grãos e produtividade de grãos da cultura do milho em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).	100
TABELA 17. Teores de macronutrientes, de silício e produção de matéria seca da <i>Brachiaria ruziziensis</i> , semeada juntamente com a cultura do milho, em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	101
TABELA 18. Teores de macronutrientes e de silício da cultura do feijão em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	103
TABELA 19. População final, matéria seca, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos da cultura do feijão em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).	104
TABELA 20. Teores de macronutrientes e de silício da cultura do guandu em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).....	106
TABELA 21. População de plantas e produção de matéria seca da cultura do guandu em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).	106
TABELA 22 – Custo operacional total, receita bruta e receita líquida de algumas sucessões de culturas, em função da aplicação de corretivos. Botucatu, SP (2008).....	109
TABELA 23 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Pousio e diferentes corretivos, Botucatu, SP (2008).	128
TABELA 24 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Adubo Verde, Botucatu, SP (2008).....	130
TABELA 25 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Integração Lavoura-Pecuária, Botucatu, SP (2008).....	132
TABELA 26 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Safrinha, Botucatu, SP (2008).....	134

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Índices pluviométricos na área experimental durante a condução do experimento.....	18
FIGURA 2 Resistência à penetração (A) e umidade do solo (B) em função de diferentes sistemas de produção agrícola (Safrinha – Pousio (•), Safrinha – Forrageira (Δ), Safrinha – Safrinha (□) e Safrinha – Adubo Verde (◇)) sob sistema plantio direto. Botucatu-SP (2008).....	40
FIGURA 3. Valores de pH (A), matéria orgânica (B), H+Al (C) e Al^{3+} (D) no solo em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), seis meses após tratamento.	41
FIGURA 4. Valores de P (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) do solo em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), seis meses após tratamento.	43
FIGURA 5. Valores de S (A), Si (B) e V% (C) do solo em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), seis meses após tratamento.	45
FIGURA 6. Valores de pH do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento.....	48
FIGURA 7. Valores de M.O. do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...	49
FIGURA 8. Valores de H + Al do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...	51
FIGURA 9. Valores de Al^{3+} do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...	52
FIGURA 10. Valores de P do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento.....	54
FIGURA 11. Valores de K^+ do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...	56
FIGURA 12. Valores de Ca^{+2} do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...	57
FIGURA 13. Valores de Mg^{+2} do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...	59
FIGURA 14. Valores de S do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento.....	60

- FIGURA 15. Valores de Si do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...61
- FIGURA 16. Valores de V% do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento...63
- FIGURA 17. Valores de pH do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.....64
- FIGURA 18. Valores de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.66
- FIGURA 19. Valores de hidrogênio e alumínio do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.68
- FIGURA 20. Valores de alumínio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.69
- FIGURA 21. Valores de fósforo no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.71
- FIGURA 22. Valores de potássio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.73
- FIGURA 23. Valores de cálcio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.74
- FIGURA 24. Valores de magnésio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.75
- FIGURA 25. Valores de enxofre no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.77
- FIGURA 26. Valores de silício no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.78

FIGURA 27 Valores da V% do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\blacklozenge$)) dezoito meses após tratamento.80

RESUMO

No sistema plantio direto praticamente não há revolvimento do solo e o conseqüente acúmulo de resíduos vegetais e fertilizantes na superfície aceleram o processo de acidificação, contínuo e acentuado que ocorre naturalmente em solo de regiões úmidas, onde, geralmente, é observada baixa disponibilidade de nutrientes e elevados teores de H + Al. Assim, da mesma forma que no sistema de cultivo convencional, no sistema plantio direto também existe a necessidade de aplicação de insumos, especialmente, materiais corretivos de acidez. Dentro deste enfoque, o trabalho desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), com o objetivo de avaliar a influência de diferentes sistemas de produção em plantio direto e da aplicação superficial de corretivos nas características físicas, na movimentação de bases, na correção da acidez do solo, bem como na nutrição e produtividade das culturas produtoras de grãos em região de inverno seco. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com 8 repetições. As parcelas serão constituídas por quatro sistemas de produção (I. Sistema “Safral consorciada com Forrageira” – soja + Braquiária / milho + Braquiária; II. Sistema “Safral – safrinha” – soja / aveia-branca / milho / feijão da Seca; III. Sistema “Safral – Pousio” – soja / Pousio / milho / Pousio; IV. Sistema “Safral – Adubo Verde/Planta de Cobertura” – soja / milheto / milho / Guandú) e as subparcelas foram constituídas por duas fontes de corretivos e uma testemunha (I – Correção com calcário dolomítico; II – Correção com silicato de cálcio e magnésio – Agrosilício®; III – Sem correção). Foram realizadas as seguintes avaliações: produção de massa de matéria seca e teores de macronutrientes, silício em todas as culturas, componentes de produção e produtividade das culturas grâníferas; análise de rotina, de silício (6, 12 e 18 meses após a aplicação dos corretivos) e de calcário residual no solo (18 meses após a aplicação dos corretivos) e atributos físicos do solo (após a colheita da segunda safra de inverno). Também foi realizada análise de custo de produção para cada um dos tratamentos ao final do experimento. Com o presente estudo, pode-se concluir que: a utilização de silicato em superfície, por promover todos os benefícios esperados por um corretivo do solo, pode substituir, com vantagens, a aplicação de calcário; a aplicação superficial de silicato corrige o perfil do solo em menos tempo que o calcário; a utilização do silicato proporciona a elevação

dos teores de fósforo do solo; o calcário e o silicato proporcionam melhor nutrição de Ca e Mg; a aplicação de corretivos na superfície do solo aumenta a produção de matéria seca da soja, braquiaria, aveia branca, milheto, milho, feijão e guandu e a produtividade de grãos das culturas de soja, aveia branca, milho e feijão; a aplicação de silicato eleva os teores de silício nas folhas em todas as culturas estudadas; a melhor nutrição com silício elevou a produtividade de grãos de feijão e a produção de matéria seca de guandu, em condições de estresse hídrico; o silicato proporcionou maior receita líquida, mesmo sendo mais oneroso que o calcário; o sistema Safra – Pousio prejudica a estabilidade dos agregados e eleva a resistência à penetração da camada superficial do solo; dentre os sistemas estudados, a sucessão Safra – Safrinha, quando recebe corretivos do solo, proporciona a maior receita líquida.

Palavras-chave: Corretivos do solo, rotação de culturas, silício, física do solo, custo de produção.

SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL MODIFICATIONS AS AFFECTED BY CROP SYSTEM AND SUPERFICIAL LIMING AND SILICATE APPLICATION. Botucatu, 2009. 135p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Author: GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

SUMMARY

In no tillage system the absence of soil mobilization consequently decreases plant residues accumulation and places fertilizers on surface, affecting the acidification process. Like in conventional system, in no tillage it is also necessary input application, especially materials for acidity correction. The experiment was carried out in an experimental area, in the city of Botucatu (SP, Brazil). The objective was to evaluate the influence of no-till crop systems and superficial application of products for acidity correction on soil physical properties, base movement, acidity correction, nutrition and yield of grain crops in a dry winter region. The experimental design was the completely randomized block with subdivided plots and eight replications. The main plots consisted of: “Season - Forage”– Soybean + *Brachiaria* / Maize + *Brachiaria*; “Season – Off season”: Soybean / White oat / Maize / Field-grown bean; “Season – Fallow”: Soybean / Fallow / Maize / Fallow; “Season – Green manure”: Soybean / Millet / Maize / Pigeon pea. Subplots consisted of two correction sources (dolomitic limestone, calcium and magnesium silicate) and a control (no correction). The following evaluations were carried out: dry matter production and macronutrient level, silicon content and water-soluble cations; yield components and final yield for grain crops; routine soil testing for silicon (6, 12 and 18 months after acidity correction) and soil residual lime (18 months after acidity correction); and soil physical characteristics. Production costs were also calculated. Superficial application of products for acidity correction increased plant nutrition and yield. Among the systems, the “Season-Fallow” showed lower maize yield. Silicate application was more effective in correcting soil profile than liming. The “Season-Off season” system showed better economic response.

Key words: soil correction, crop rotation, silicon, soil physics, cost of production.

1. INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) é o grande responsável pelo significativo aumento da produtividade e continuidade da exploração agrícola dos solos brasileiros. Para a implantação e condução do sistema de maneira sustentável, é indispensável a rotação de culturas, o não revolvimento e a manutenção permanente de uma quantidade mínima de palha na superfície do solo. O efeito positivo dos resíduos vegetais é aumentado conforme seu tempo de permanência. Este tempo é dependente da quantidade, da qualidade e do manejo do resíduo vegetal, bem como das condições edafoclimáticas.

A proteção da superfície do solo é especialmente importante para a manutenção das propriedades físicas e da atividade de microrganismos que, uma vez constituídos na matéria orgânica, promovem a liberação gradual de determinados elementos nutrientes, contribuindo para a absorção destes pelo sistema radicular das plantas.

No entanto, a maior limitação para a sustentabilidade do SPD na grande maioria do território do Estado de São Paulo e na maior parte do Brasil Central é a baixa produção de palhada no período de outono/inverno e inverno/primavera, tanto das espécies utilizadas para adubação verde e cobertura do solo, como das culturas produtoras de grãos, em razão das condições climáticas desfavoráveis, notadamente baixa

disponibilidade hídrica, caracterizando essas regiões como de inverno seco. Assim, devido à rápida decomposição da palhada de plantas graníferas leguminosas como a soja e o feijão, e dos resíduos vegetais do algodoeiro, principalmente em cultivos de verão, e a alta probabilidade de insucesso das culturas de safrinha, muitas áreas, nessas regiões, ficam ociosas durante sete meses do ano e com baixa cobertura vegetal, comprometendo a viabilidade e sustentabilidade do plantio direto. Para minimizar este problema, alguns agricultores, na região Centro-Oeste brasileira, iniciaram o cultivo consorciado de culturas como milho, soja, arroz, feijão e sorgo, com plantas forrageiras, notadamente as espécies do gênero *Brachiaria*, semeadas concomitantemente, como forma de produção de forragem no período de menor disponibilidade nessa região e de palhada para o SPD na safra seguinte.

Esse novo sistema de produção quando praticado de forma correta tem sido uma das soluções para produção de palhada no período de entressafra nas regiões de inverno seco. Contudo, um questionamento que ainda persiste no SPD é quanto ao manejo da acidez do solo sem necessidade de incorporação os materiais corretivos. Pois, o não revolvimento do solo no SPD e o conseqüente acúmulo de resíduos vegetais e fertilizantes na superfície aceleram o processo de acidificação, contínuo e acentuado que ocorre naturalmente em solo de regiões úmidas, onde, geralmente, é observada baixa disponibilidade de nutrientes e elevados teores de H+Al.

A calagem é uma prática essencial para a garantia do sucesso da produtividade das culturas, tendo como benefício à neutralização da acidez do solo, o fornecimento de cálcio e magnésio e a redução da toxidez de alumínio. A boa reação do calcário é restrita a uma pequena distância do local da aplicação, assim, o benefício máximo é obtido com a aplicação antecipada, distribuição uniforme e maior profundidade de incorporação. Contudo, a técnica tradicional de correção de acidez, mediante incorporação de calcário ao solo com aração e gradagem, se contrapõe aos fundamentos do plantio direto, podendo interferir negativamente nos benefícios proporcionados pela supressão de mobilizações do solo. Dessa forma, no SPD, a calagem tem sido realizada mediante a aplicação do calcário na superfície do solo, sem incorporação. Porém, esse método de calagem, ainda é bastante questionado, pois se sabe que o calcário é um produto que apresenta baixa solubilidade em água e baixa reatividade.

Outro problema relacionado à aplicação de calcário em superfície, em SPD, é a correção da acidez do subsolo, que limita, em muitos casos, o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes pelas culturas, pois, a calagem não corrige a acidez e a deficiência de cálcio, em subsuperfície, em tempo razoável, de maneira a minimizar as consequências dos veranicos. Além disso, sabe-se que há movimentação do cálcio no perfil do solo através de ânions resultantes da reação de corretivos ou da decomposição dos resíduos orgânicos, ou seja, os ácidos orgânicos e os íons SO_4^{-2} e NO_3^{-} , que através da ligação com o cálcio fazem com que este seja lixiviado para as camadas subsuperficiais. Mas a intensidade com que o fenômeno ocorre, assim como suas condicionantes não são bem conhecidas. Provavelmente, os mecanismos que levam o cálcio para a subsuperfície dos solos devem estar ligados aos tipos de resíduos vegetais das plantas que são utilizadas nos sistemas de sucessão/rotação de culturas, proporcionando assim a diferentes respostas. Também deve ser ressaltado que as plantas utilizadas nos sistemas de sucessão/rotação de culturas modificam os atributos físicos do solo, podendo aumentar o fluxo de caminamento da água e, por conseguinte, a movimentação física de partículas dos corretivos, bem como os produtos da dissolução desses materiais, aumentando a velocidade de correção da acidez e de suprimento de cálcio em subsuperfície em aplicações superficiais de corretivos no SPD.

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo de acidez do solo é o calcário. No entanto, os silicatos de cálcio e magnésio provenientes das escórias de siderurgia são materiais que se comportam de forma semelhante aos calcários, podendo ser utilizados como corretivos, pois além de promoverem elevação dos valores de pH, dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis, aumento na disponibilidade de fósforo, e redução de toxidez de ferro, manganês e alumínio, são fontes de silício para as plantas, que apesar de não ser considerado um elemento essencial, sua absorção traz vários benefícios para algumas culturas, principalmente as gramíneas, tais como maior tolerância à deficiência hídrica, à toxidez por elementos tóxicos, à pragas e doenças. A utilização desses materiais no SPD pode ser uma alternativa interessante no processo de correção de acidez do solo, visto que, algumas fontes de silicato apresentam maior solubilidade que o calcário, promovendo, dessa forma, efeito corretivo em profundidade e em menor tempo e disponibilizando Si às culturas.

2. OBJETIVO

Em função do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações químicas e físicas no solo decorrentes de sistemas de produção de grãos e da aplicação superficial de corretivos de acidez em plantio direto, bem como os reflexos na nutrição, na produtividade e na viabilidade econômica das culturas em região de inverno seco.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Correção da acidez do solo no sistema plantio direto

A calagem é prática usual na correção da acidez do solo e quando realizada de modo adequado, eleva o pH e a saturação por bases do solo, além de fornecer Ca e Mg, sendo que a elevação do pH tem influência direta na redução da toxidez de Al, podendo alterar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (AZEVEDO et al., 1996; MIRANDA & MIRANDA, 2000). Segundo Hunter et al. (1995) a baixa fertilidade de um solo ácido pode ser corrigida tanto pela calagem quanto pela adição de um adubo verde, especialmente em solos de cargas dependentes do pH. Para Fageria e Zimmermann (1998) o pH ideal para as culturas de soja, feijão, milho e trigo está em torno de 6,0, ficando clara a necessidade de correção dos solos das regiões que apresentam acidez elevada. Porém, como os materiais corretivos utilizados são pouco solúveis e os produtos da reação do calcário têm mobilidade limitada, a ação da calagem, realizada superficialmente em áreas sem incorporação, normalmente fica restrita às camadas superficiais do solo, conforme observado por Ritchey et al. (1982) e Caires et al. (1998). No entanto, alguns pesquisadores têm demonstrado que os benefícios acima citados podem ocorrer na subsuperfície do solo

(OLIVEIRA & PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1996, 1998, 1999, 2000; RHEINHEIMER et al., 2000; FRANCHINI et al., 2000; SORATTO, 2005; CORRÊA et al., 2007; CORRÊA et al., 2008a; CORRÊA et al., 2008b; SORATTO & CRUSCIOL, 2008a; SORATTO & CRUSCIOL, 2008b; SORATTO & CRUSCIOL, 2008c; SORATTO & CRUSCIOL, 2008d). Enfatizando essa afirmação, Oliveira & Pavan (1996), Caires et al. (1999), Corrêa et al. (2007) e Soratto & Crusciol (2008a) inferem que a redução da acidez em profundidade é atribuída à presença de ânions orgânicos liberados durante a decomposição de resíduos vegetais e a formação de pares iônicos e/ou complexos orgânicos com cátions polivalentes.

A não movimentação do solo no SPD promove modificações químicas no solo em função do acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície e, segundo Rheinheimer et al. (1998), estas modificações ocorrem de forma gradual e progressiva, a partir da superfície do solo, e afetam tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo de acidificação do solo. De acordo com Caires et al. (1998; 1999) as áreas onde o SPD já está estabelecido recebem calagem superficialmente, porém Sá (1995) afirma que existem dúvidas quanto à eficiência desta prática, quando realizada na superfície do solo, uma vez que os corretivos à base de carbonatos de cálcio e magnésio, são pouco solúveis em água, tendo os produtos de sua reação com o solo mobilidade limitada no perfil (CAIRES et al., 1998; PAVAN & OLIVEIRA, 2000).

Alguns autores (CAIRES et al., 2000; 2004; 2006; ALLEONI et al., 2005) tem verificado resposta à aplicação superficial de corretivos, em diferentes condições de solo e clima, apenas nas primeiras camadas abaixo da superfície do solo (0,00 – 0,05 e 0,05 – 0,10m). Da mesma forma, Caires et al. (1998) e Pötter & Ben (1998) enfatizam que o calcário em superfície corrige a acidez, aumentando o pH e elevando os teores de Ca e Mg trocáveis do solo até à profundidade de 0,05m e, em menor grau, na camada de 0,05 – 0,10m. Já Mello et al. (2003) destacam que em apenas 12 meses, os atributos químicos do solo (pH, H+Al, Ca e Mg) podem ser alterados positivamente, na camada de 0,00 – 0,10m. O mesmo foi observado por Marcolan & Anghinoni (2003) até os 0,15m iniciais, porém segundo os mesmos, isto só ocorre se o SPD estiver consolidado (8 – 12 anos).

Recentemente, constatou-se que compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular, liberados pelos resíduos vegetais, desempenham um papel fundamental na química dos solos ácidos (Franchini et al., 1999a; b). Seguindo a

mesma linha de trabalho, Franchini et al. (2001a) verificaram que a presença dos mesmos favorece o deslocamento do cálcio no perfil do solo até os 0,20m, enquanto que a ausência dos mesmos proporciona o fornecimento deste nutriente apenas nos 0,05m iniciais do solo. Além disso, citaram que o crescimento das raízes de trigo acompanhou os efeitos na química do solo, proporcionados por estes compostos. Ademais, Oliveira & Pavan (1996) também atribuíram à presença de resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto, como a principal causa da eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial. Recentes estudos desenvolvidos por Pavan & Miyazawa (1998), Miyazawa et al. (1998) e Ziglio et al. (1999) demonstraram que, desde que o solo esteja coberto por grandes quantidades de resíduos de plantas, o calcário aplicado superficialmente promove a elevação dos teores de cálcio na subsuperfície, bem como aumentar o pH e reduzir os teores de alumínio.

Segundo Alcarde (1985), além do calcário, outros materiais podem ser utilizados como corretivos de acidez, desde que contenham um “constituente neutralizante” ou “princípio ativo”, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio. Segundo Alcarde (1992) o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ g dm}^{-3}$). Assim, o mesmo seria uma boa opção para aplicações superficiais.

O silício não é considerado um nutriente, porém Barbosa Filho et al. (2000) e Korndörfer et al. (2002) relatam que as gramíneas como um todo, quando bem nutridas com silício, conseguem acumular grandes quantidades deste elemento na epiderme foliar, aumentando a resistência da parede celular e assim diminuindo a perda de água por evapotranspiração, elevando a tolerância à pragas e doenças e, também, a eficiência fotossintética.

De acordo com Korndörfer et al. (2002) e Pulz et al. (2008), os silicatos de Ca e Mg, por apresentarem composição semelhante a dos carbonatos, podem substituir os calcários com vantagens, podendo sua recomendação de aplicação ser baseada em qualquer um dos métodos utilizados para recomendação de calagem. Segundo os autores, os benefícios proporcionados pelos silicatos de Ca e Mg estão associados ao aumento da disponibilidade de Si, a elevação do pH e ao aumento de Ca e Mg trocável. Também podem reduzir a toxicidade por Fe, Mn e Al às plantas e aumentar a disponibilidade de fósforo no solo.

3.2 Silício

O Si, o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, tem demonstrado seus efeitos benéficos, contribuindo para o crescimento e a produção de diversas maneiras: melhorando condições físicas, físico-químicas e químicas desfavoráveis do solo; contribuindo diretamente para a nutrição; aumentando a resistência a pragas e moléstias em um grande número de plantas (Malavolta, 2006; Epstein & Bloom, 2005).

O registro da utilização do Si como fertilizante se deu há algum tempo e, curiosamente um dos primeiros experimentos contendo Si ainda está sendo conduzido, depois de 100 anos de avaliação na estação de Rothamsted (Inglaterra). Os efeitos benéficos foram observados até a década de 70, onde as maiores produtividades e disponibilidade de P para as plantas são encontradas nas parcelas fertilizadas, anualmente, com 450 kg ha⁻¹ de silicato de sódio (Russel, 1976).

3.2.1 Silício no solo

No processo de formação dos solos, o Si se apresenta como um dos principais elementos constituinte dos argilo-minerais e pode afetar de forma significativa à nutrição das plantas. Em geral, os solos possuem de 5 a 40% de Si na sua composição. Essa grande variação percentual deve-se ao grau de intemperismo dos solos. Os mais intemperizados, como os Latossolos, possuem baixos teores, enquanto solos mais jovens como os cambissolos concentram maiores teores do elemento (Tisdale et al., 1985).

Em solos de textura e idade variadas do Estado de São Paulo, Raij & Camargo (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel no Latossolo fase arenosa, e os maiores valores num Podzólico argiloso, atribuindo a referida observação à reduzida porcentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície específica total para o Argissolo, menos intemperizado e mais argiloso. Os autores verificaram ainda, teores de Si extraível com CaCl 2 0,0025 mol L⁻¹ variando de 1 a 43 mg dm⁻³, sendo os valores maiores encontrados nos solos mais argilosos e havendo também uma relação inversa com o grau de intemperismo.

Um dos fatores mais estudados e que interfere na solubilidade do silício no solo, em condições aeróbicas, é o pH. A adsorção de silício monomérico por hidróxidos de ferro e alumínio recém-precipitados e por argilas de um Latossolo aumenta com a elevação do pH de 4,0 até 9,0 (McKeague & Cline, 1963).

3.2.2 Silício nas plantas

O Si não é considerado elemento essencial às plantas (Jones & Handreck, 1967) porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. No entanto, Epstein (2001) cita efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si como resistência às doenças e pragas, resistência à toxidez provocada por metais, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, nodulação da atividade de enzimas, efeitos na composição mineral, dentre outros. Por isso, o Si é classificado como elemento benéfico ou útil (Marschner, 1995).

A absorção do silício da solução do solo dá-se de forma passiva por gramíneas, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas. Plantas dicotiledôneas, por outro lado, tem mecanismo que evita a absorção de quantidades elevadas de silício (RAIJ, 1991).

O transporte do Si é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta. O elemento é imóvel na planta e em plantas de arroz é depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes, sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar (TANAKA & PARK, 1966). O Si acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca das mesmas.

O Si depositado na epiderme das folhas de arroz está diretamente relacionado à resistência das plantas às doenças fúngicas, cujo mecanismo de resistência mais aceito é de natureza mecânica (BARBOSA FILHO et al., 2001). Segundo Agarie et al. (1998), o Si estaria também envolvido na biossíntese dos componentes da parede celular, devido às folhas das plantas de arroz tratadas com Si apresentarem níveis mais altos de polissacarídeos do que as folhas das plantas não tratadas com Si.

Outra hipótese relacionada com o controle de doenças seria a formação de fenóis favorecida pela absorção de Si. Compostos fenólicos e Si acumulam-se nos sítios de infecção, cuja causa ainda não está esclarecida. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 1991).

3.3 Rotação de culturas para regiões de inverno seco

Na maioria das regiões do Brasil, principalmente nas que possuem distribuição de chuvas irregular, normalmente é realizado apenas um cultivo, na estação chuvosa do ano, deixando-se o solo descoberto e sujeito às intempéries climáticas o resto do ano, o que muitas vezes causa erosão e conseqüente perda de nutrientes por lixiviação (GASSEN & GASSEN, 1996), sendo esta perda dependente das condições climáticas da região e das culturas utilizadas.

Para Derpsch et al. (1991) a rotação de culturas é um manejo conservacionista, que consiste em alternar espécies vegetais ao longo dos anos em uma mesma gleba ou talhão. Inúmeras vantagens têm sido relacionadas à rotação, dentre elas a diversificação de renda, melhor aproveitamento das máquinas, variação no tipo e na profundidade utilizada pelos sistemas radiculares, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, fixação de nitrogênio pelas leguminosas, efeitos alelopáticos, redução das perdas de água e de solo, além de aumento na produtividade. Já Calegari (2000) infere que a rotação de culturas é a alternância de espécies vegetais na mesma estação em determinada área, observando-se um período mínimo sem o cultivo da mesma espécie na mesma área. Ademais, Adegas (1997) cita que esta alternância regular e ordenada de culturas em seqüência temporal numa determinada área dificulta a instalação de plantas invasoras. O fato ocorre pelas características das culturas utilizadas em um sistema de rotação, como rapidez de crescimento, eficiência na ocupação do espaço do solo, sombreamento e liberação de substâncias alelopáticas para as plantas daninhas.

A escolha da espécie que será semeada em sucessão dentro de uma rotação de culturas é determinante para o sucesso do SPD (ARGENTA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2002) e depende da manutenção de sistemas capazes de gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano (CERETTA et al., 2002). No entanto, a produção de palhada para o SPD em regiões com inverno seco, está sujeita principalmente às condições de umidade e temperatura elevadas em boa parte do ano, as quais causam a rápida decomposição da fitomassa depositada sobre o solo. Segundo Bertol et al. (2004), caso não haja esta manutenção, o sistema de cultivo, compreendido como rotação e sucessão de culturas, não influenciará, em geral, as propriedades físicas do solo, tanto em SPD quanto no preparo convencional e, além disso os efeitos benéficos do SPD e da rotação não ocorrerão da forma esperada.

Experimentos realizados por Silveira (2002) objetivando avaliar os efeitos da rotação de culturas sobre o feijoeiro, no cerrado brasileiro, permitiram constatar que a rotação arroz consorciado com calopogônio proporcionou as maiores produtividades de grãos do feijoeiro nos seis anos de cultivo. De acordo com o autor a inclusão de leguminosas melhorou as características físicas, químicas e biológicas do solo, além do mais as rotações com leguminosas determinaram os maiores incrementos de nitrogênio total no solo. De modo geral, as piores produtividades do feijoeiro foram alcançadas nas rotações milho-feijão e milho-feijão-milho-feijão-arroz-feijão. A menor produtividade do feijoeiro após o milho foi atribuída, em parte, à deficiência de nitrogênio, devido à maior competição dos microorganismos, para com o nutriente, durante a decomposição da palhada de milho.

A Embrapa (1996) relata que, para a cultura do arroz, a rotação de culturas é uma das práticas de cultivo de grande importância porque evita a incorporação contínua de restos com elevada relação C/N.

Estudando a rotação de culturas com soja, Santos et al. (1998) verificaram que os menores valores de produtividade de grãos e altura da inserção de vagens estão relacionados diretamente às características da cultura antecessora. Outro fator que deve ser levado em consideração é o aumento da produtividade das culturas quando cultivadas em intervalos maiores na mesma área, conforme observado por Silveira (2002), na região dos cerrados, através de aumento de produtividade da soja em cultivos bienais.

A adubação verde é a prática de cultivo e incorporação de plantas, produzidas no local ou adicionadas, com a finalidade de manter os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos, indo ao encontro da tendência mundial pela busca de alimentos mais saudáveis, provenientes da agricultura orgânica ou produzidos com a mínima utilização de insumos químicos e degradação do ambiente (SILVA et al., 1999). Uma das principais limitações ao uso da adubação verde na região dos cerrados está relacionada à época de semeadura. Se o produtor optar pela semeadura do adubo verde antes da cultura comercial, pode ocorrer atraso na semeadura de verão, prejudicando o desenvolvimento da mesma. Segundo Pereira et al. (1992), o uso da adubação verde pode ser viabilizado com a semeadura no final da estação chuvosa, após a colheita da cultura comercial, aproveitando o benefício da cobertura vegetal durante toda a entressafra.

A rotação utilizando-se adubos verdes e culturas gramíneas pode ser benéfica pela utilização do nitrogênio residual por esta cultura. O fato foi comprovado por Mascarenhas et al. (1998), que demonstraram que o arroz apresentou maior produção quando sucedeu soja e crotalária, no segundo ano de cultivo, do que quando sucedeu somente a soja, indicando efeito positivo adicional do adubo verde, no caso a crotalária, sobre o arroz. Vários autores citam que a adubação verde pode provocar incrementos na produção de culturas subseqüentes em até 65% em relação a cultivos contínuos. (MIYASAKA et al., 1965; FERRAZ et al., 1977; TANAKA et al., 1992; RODRIGUES FILHO et al., 1996). Silva et al. (1999) destaca que o monocultivo de gramíneas, em decorrência de seu sistema radicular fasciculado e superficial, acaba explorando o solo continuamente a uma mesma profundidade, diminuindo o estoque de nutrientes na camada arável (0,00 – 0,20m), onde estão concentradas as raízes, além de degradar a estrutura do solo, compactando-o e reduzindo sua porosidade.

Entre as diversas leguminosas que se utilizam para adubação verde na região dos cerrados e na maior parte do Estado de São Paulo, destacam-se: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), guandu (*Cajanus cajan*), crotalárias (*Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria paulina* e *Crotalaria spectabilis*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), estilosantes (*Stylosanthes guianensis*) (PEREIRA et al., 1992), além do milheto (*Pennisetum glaucum*) que vem se destacando no

SPD de soja no Centro-Oeste, onde é semeado em agosto, sendo dessecado no início de novembro.

O guandú, de ciclo anual ou perene, é uma leguminosa forrageira comumente semeada nas regiões tropicais e subtropicais. Adaptada a ampla faixa de precipitação, é tolerante à seca, desenvolvendo-se melhor em temperaturas mais elevadas (Calegari, 2000). Segundo Pereira et al. (1992) durante a estação seca, na região dos cerrados, torna-se caducifólia devido à severa deficiência hídrica registrada na região nesse período. Comparando diferentes adubos verdes, Alvarenga (1993) concluiu ser o guandu a espécie de maior potencial para penetração de raízes no solo, maior produção de massa de matéria seca e maior quantidade de nutrientes imobilizados.

O milheto é uma planta da família das gramíneas, de ciclo anual e crescimento ereto, de alta adaptabilidade a solos de baixa fertilidade e arenosos, sendo muito tolerante à seca. Esta gramínea tem as mais diversas utilizações, como para formação de pasto, feno, silagem, cobertura morta para o SPD, bem como pode entrar em esquemas de consorciação ou em rotação, principalmente com lab-lab e guandú. Segundo Salton (2001) o milheto já se constituiu em boa opção de cultivo no inverno, em regiões de cerrado como em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, apresentando, nesse período, área cultivada de 600.000 e 200.000 ha respectivamente, sendo grande parte desta área cultivada para formação de palha para o SPD. O sucesso da adaptação dessa cultura nos cerrados é devido à sua capacidade de produção de restos vegetais, além de ser uma cultura de fácil instalação e desenvolvimento e excelente forrageira. Enfatizando estas qualidades, Scaléa (1999) o apresenta como alternativa valiosa na integração agricultura – pecuária, pois é altamente palatável, de grande capacidade de rebrota, e bom valor nutricional. Além disso, de acordo com Kichel & Macedo (1994), trata-se de uma espécie de alta capacidade de extração de nutrientes com amplas vantagens de reciclagem, principalmente nitrogênio e potássio.

Os benefícios proporcionados pela utilização dos adubos verdes nem sempre trazem melhorias visíveis ou lucro imediato ao produtor. No entanto, a sua utilização quando de forma racional e, se possível inserida dentro de um sistema de rotação ou sucessão de culturas, pode trazer inúmeros benefícios às culturas subseqüentes como também ao próprio solo, através de melhorias nas suas condições físicas, químicas e biológicas.

A integração agricultura – pecuária, ou sistema safra-forrageira, poderá viabilizar a agropecuária brasileira, aumentando a receita do agricultor e do pecuarista, além de fornecer nutrientes para as plantas, melhorar a fertilidade do solo, permitir a rotação de culturas, diminuir a incidência de pragas e doenças e gerar empregos. Segundo Kichel (1998) dentre os inúmeros benefícios desta prática estão a recuperação eficiente da fertilidade do solo, a facilidade da aplicação de práticas para a conservação do solo, a implantação de pastagens com baixos custos, a melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o controle de pragas, doenças e invasoras, a reciclagem dos nutrientes do solo, o aproveitamento de adubo residual, o aumento na produção de grãos e resíduos no sistema, o aumento das oportunidades de trabalho, a maior eficiência no emprego de máquinas, equipamentos e mão de obra, a diversificação do sistema produtivo e o aumento da produtividade e lucratividade. Além disso, Broch et al. (1997) citam que a mesma possibilita ao mesmo tempo, melhoria da qualidade das pastagens por meio do fornecimento de nutrientes residuais das lavouras e formação de palha com relação C/N alta, proveniente da dessecação da pastagem, o que é fundamental para a instalação do SPD. Dentro deste contexto, Heckler et al. (1998) citam que o gênero *Brachiaria* é muito utilizado nesta integração, pois apresenta sistema radicular abundante, agressivo, o que contribui para a melhoria da infiltração de água, da agregação e da aeração do solo e, de acordo com Vilela et al. (2001), a participação relativa de espécies do gênero *Brachiaria* na região dos cerrados é da ordem de 85%, sendo que a *Brachiaria decumbens* ocupa cerca de 55% da área total de pastagem.

Sabe-se que o solo necessita de espaço poroso para o movimento de água, gases e resistência favorável à penetração das raízes, porém os diferentes sistemas de produção alteram suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado ou em monocultura. Essas alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, como o SPD, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas.

Entretanto, mesmo em SPD há tendência de redução do espaço poroso, em virtude da ausência de movimentação do solo e contínuo tráfego de maquinário. Portanto, o estudo das características físicas em experimentos de longa duração e o efeito de

diferentes sucessões de plantas se faz necessário, uma vez que as mesmas apresentam grande correlação, como é o caso da resistência à penetração, que é uma característica física utilizada para estabelecer o grau de compactação dos solos, sendo intimamente relacionado à umidade e densidade do solo. A porosidade total também é outra característica diretamente proporcional à macroporosidade e microporosidade.

Não é raro observar que em regiões onde há distribuição de chuvas irregular, que o SPD fica comprometido, uma vez que a produção de resíduos vegetais não é suficiente. Assim, em muitos casos, nessas regiões, observam-se resultados semelhantes entre diferentes sistemas de produção agrícola, no que tange a produtividade das culturas. Entretanto, os aspectos negativos da monocultura aparecem quando o solo, descoberto pela degradação da palhada da cultura de verão, é submetido às chuvas erosivas, as quais o desagregam na superfície pelo impacto das gotas, diminuem a taxa de infiltração de água (Bertol et al., 2001). Apesar de não se comparar a uma área em que não há ação antrópica, na semeadura direta há maior estabilidade dos agregados e continuidade dos poros (Costa, 2001), o que favorecem plenamente a infiltração de água e dificultam o escoamento superficial (Schick et al., 2000), bem como a lixiviação de alguns nutrientes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), apresentando como coordenadas geográficas 48° 23' de longitude Oeste de Greenwich e 22° 51' de latitude Sul, com altitude de 765 metros.

O solo do local é do tipo LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico argiloso, profundo, ácido (EMBRAPA, 1999), cujos resultados químicos estão contidos na Tabela 1, onde pode-se notar ser esta uma área com limitações químicas. Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão os resultados da caracterização física da área onde o experimento foi conduzido. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que caracteriza clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO & DRUGOWICH, 1994). Na Figura 1 estão os dados referentes aos dados de pluviosidade nos da área nos anos de 2007 e 2008. Nota-se a ocorrência de duas estações bem definidas: estação das águas e da seca.

TABELA 1. Características químicas iniciais do solo avaliadas de 0 a 0,60m de profundidade.

Prof. (cm)	Caracterização da área									
	P _{resina} mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Si mg dm ⁻³	V %
0-5	8,7	23	4,7	2,08	21	9	50,2	4	7,5	27
5-10	7,9	19	4,4	1,12	11	6	69,3	6	6,3	25
10-20	2,0	18	4,0	0,63	10	4	61,2	5	6,2	24
20-40	3,0	17	4,0	0,70	12	4	64,3	6	6,0	24
40-60	2,1	15	4,0	0,64	9	4	80,1	12	6,7	22
0-20	3,6	18	4,2	0,76	12	6	54,2	4	6,2	25

TABELA 2. Caracterização física do solo da área experimental quanto a textura.

Prof. (cm)	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
	-----g/kg-----			
0-10	489	415	96	Argilosa
10-20	435	462	103	Argilosa
20-40	385	509	106	Argilosa

TABELA 3. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) do solo por ocasião da caracterização da área experimental.

Prof. (cm)	DMP	DMG	IEA %
	-----mm-----		
0-5	2,92	2,81	99,18
5-10	2,88	2,73	99,11

TABELA 4. Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac) do solo, por ocasião da caracterização da área experimental.

Prof. (cm)	Ds	Pt	Mic	Mac
	---Mg m ⁻³ ---	-----cm ³ cm ⁻³ -----		
0-5	1,38	0,40	0,33	0,07
5-10	1,41	0,38	0,31	0,07
10-20	1,40	0,42	0,33	0,09
20-40	1,25	0,43	0,33	0,10
40-60	1,17	0,47	0,34	0,13

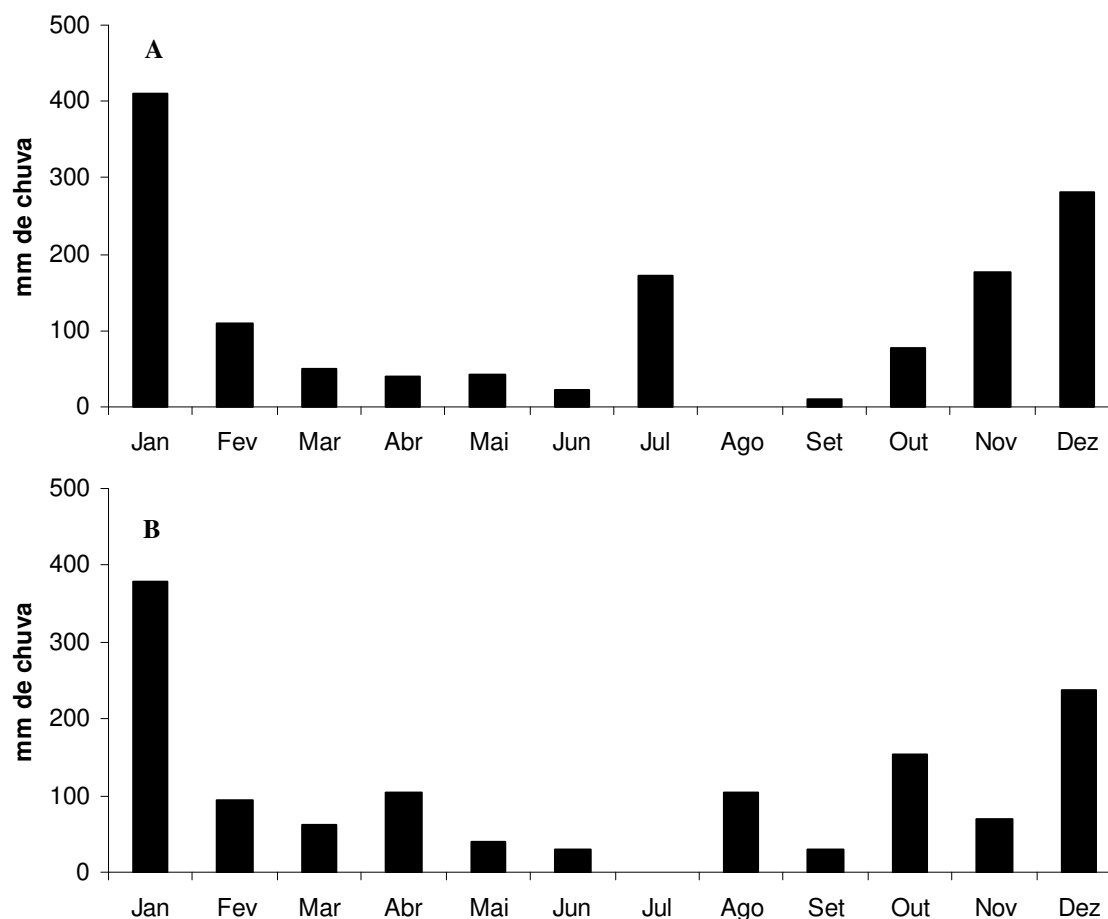


FIGURA 1. Índices pluviométricos na área experimental durante a condução do experimento.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados dispostos em esquema de parcelas subdivididas, com oito repetições. As parcelas foram constituídas por quatro sistemas de produção (Sistema I – “Safrá – Forrageira”; Sistema II – “Safrá – Safrinha”; Sistema III – “Safrá – Pousio”; IV – “Safrá - Adubo Verde/Planta de Cobertura”) e as subparcelas por duas fontes de corretivos e uma testemunha (calcário, silicato e sem corretivo).

As parcelas tiveram as dimensões de 5,4m de largura e 30m de comprimento, totalizando 162m², enquanto as subparcelas 5,4m de largura e 10m de comprimento, totalizando 54m². A área útil foi constituída pelas linhas centrais, desprezando-se uma linha de cada lado das subparcelas e 1m em ambas as extremidades.

As sucessões de culturas seguiram o seguinte esquema:

Sistema I - “Safra - Forrageira”

1º ano agrícola (2006/07)

Soja semeada em novembro de 2006 + Braquiária semeada em março de 2007.

2º ano agrícola (2007/08)

Milho + Braquiária na caixa de fertilizantes na ocasião de semeadura em dezembro de 2007.

Sistema II - “Safra – safrinha”

1º ano agrícola ((2006/07)

Soja semeada em novembro de 2006 / aveia-branca semeado em março de 2007.

2º ano agrícola (2007/08)

Milho semeado em dezembro de 2007 / feijão semeado em abril de 2008.

Sistema III - “Safra – Pousio”

1º ano agrícola (2006/07)

Soja semeada em novembro de 2006 / Pousio (a partir da colheita da soja até dezembro de 2007).

2º ano agrícola (2007/08)

Milho semeado em dezembro de 2007 / Pousio (a partir da colheita do milho).

Sistema IV - “Safra – Adubo Verde/Planta de Cobertura”

1º ano agrícola (2006/07)

Soja semeada em novembro de 2006 / milheto semeado em março de 2007.

2º ano agrícola (2007/08)

Milho semeado em novembro de 2007 / Guandú semeado em abril de 2008.

4.3 Caracterização dos corretivos de acidez do solo

Foram utilizados como corretivos o calcário dolomítico (PRNT = 90%, CaO = 36% e MgO = 12%) e o Agrosilício (silicato de cálcio e magnésio/ PRNT = 80%, CaO = 34%, MgO = 10% e SiO₂ = 22%). Além destes dois corretivos, houve também uma testemunha que não recebeu correção. Em ambas as áreas, as doses dos corretivos foram calculadas objetivando elevar a saturação por bases (V%) a 70%.

O calcário dolomítico foi proveniente de Formiga-MG, pois se assemelhava mais ao Agrosilício no que diz respeito aos teores de cálcio e magnésio. Com isso, foram aplicados 4,0 t ha⁻¹ do calcário dolomítico e 4,5 t ha⁻¹ do silicato de cálcio e magnésio em superfície, após correção do teor de água dos produtos.

4.4. Instalação, condução e avaliações do experimento

Em outubro de 2006 foi definida a área onde o experimento seria conduzido. Foram realizadas as medidas totais da gleba com auxílio de um GPS portátil e retiradas amostras para a caracterização da área.

No dia 4 de outubro de 2006 foi realizada a semeadura da cultivar BRS 1501 de milheto, em área total, na população de 300 mil plantas por hectare para uniformizar a palhada da área e proporcionar boa quantidade de resíduo vegetal para a manutenção do SPD.

Por ocasião da emergência das plantas, foi realizado o sorteio e o estaqueamento do experimento e, no dia seguinte, 14 de outubro de 2006, a aplicação dos corretivos, mecanicamente por um distribuidor tipo cocho, acoplado a um trator.

4.4.1. Culturas de verão - Safra

As culturas de verão foram semeadas e conduzidas da seguinte forma:

4.4.1.1 Soja

Antes da semeadura da cultura da soja, foi realizada a dessecação das plantas presentes na área com a utilização do herbicida glyphosate, na dose de 1800 gramas do ingrediente ativo (i. a.) ha^{-1} , utilizando volume de aplicação de 200 L ha^{-1} , sendo a operação realizada com pulverizador tratorizado de barras com 12 m de comprimento, e bicos leque 110.02 espaçados de 0,50m.

No dia 29 de novembro de 2006 foi realizada a semeadura da cultura da soja sobre 4t ha^{-1} de palha de milheto. Utilizou-se a cultivar Embrapa 48, de ciclo médio e exigente à fertilidade do solo, no espaçamento de 0,45m e 22 plantas por metro. Para a semeadura foi utilizada semeadora - adubadora modelo Personalle Drill 13 Semeato para plantio direto, com 5 linhas.

As sementes de soja receberam tratamento com fungicida (vitavax + thiram – 50 + 50 g do i.a. por 100 kg de sementes). Para a adubação de base nos sulcos foram utilizados 250 kg ha^{-1} da formulação 04-20-20, levando-se em conta as características químicas do solo e as recomendações para a cultura da soja (Mascarenhas & Tanaka, 1997). A emergência da soja se deu no dia 5 de dezembro de 2006. Foi realizada uma aplicação com o Bentazone (600 mL ha^{-1} do i.a.) para o controle de plantas daninhas na área.

O controle de pragas e doenças na soja foi realizado mediante aplicação de inseticida deltametrina (7,5 g ha^{-1} do i.a.) e do fungicida epoxiconazole + pyraclostrobin (25 + 67 g ha^{-1} do i.a.), no dia 15 de fevereiro de 2007.

O florescimento pleno da soja ocorreu 45 dias após sua emergência e a colheita ocorreu no dia 3 de abril de 2007. Utilizou-se uma colhedora de parcelas, onde à partir das três fileiras centrais foram obtidos os dados de produtividade grãos.

Durante a condução da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Determinada por ocasião do florescimento pleno das plantas, onde foram coletadas 10 plantas que foram acondicionadas em saco de papel e levadas ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura média de 60 – 70 °C, até atingirem massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha^{-1} .

b) Teor foliar de macronutrientes e silício

Para determinação dos teores de macronutrientes e silício foram utilizadas as 3^{as} folhas com pecíolo, amostradas no florescimento (AMBROSANO et al., 1997b). As folhas foram submetidas a uma lavagem rápida com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e de Si segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

c) Componentes da produção

- **População de plantas:** por ocasião da colheita, foi avaliada a população de plantas através da contagem das plantas em duas linhas de 5m na área útil das parcelas.

- **Número de vagens por planta:** obtido mediante a relação do número total de vagens contidas em 10 plantas coletadas em cada subparcela.

- **Número de grãos por vagem:** obtido através da relação número total de grãos / número total de vagens contidas em dez plantas por subparcela.

- **Massa de 100 grãos:** obtido através da coleta ao acaso e pesagem de 2 amostras de 100 grãos por subparcela.

d) Produtividade de grãos

Os grãos obtidos pela colheita mecânica foram pesados e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13% base úmida).

4.4.1.2 Milho

A área total do experimento foi dessecada no dia 29 de novembro de 2007 utilizando-se herbicida glifosate (1800 g ha⁻¹ do i.a.).

A cultura do milho foi semeada no dia 2 dezembro de 2007, utilizando-se o híbrido 2B570, de ciclo médio e exigente em fertilidade do solo, no espaçamento de 0,90 m entrelinhas e sementes necessárias para se obter 5 – 6 plantas por metro. As sementes de milho receberam tratamento com fungicida (Captan - 120g do i.a. 100 kg de sementes⁻¹). Para a semeadura foi utilizada semeadora - adubadora modelo Personalle Drill 13 Semeato para plantio direto, com 3 linhas.

Para a adubação de base nos sulcos foram utilizados 300 kg ha^{-1} da formulação 08-28-16, levando-se em conta as características químicas do solo e as recomendações para a cultura do milho (Raij & Cantarella, 1997). No dia 3 de dezembro de 2007, foi aplicado o herbicida pré-emergente atrazine (2500 g ha^{-1} do i.a.). A emergência do milho se deu no dia 9 de dezembro de 2007. A adubação de cobertura do milho foi realizada no dia 10 de janeiro, aplicando-se mecanicamente 90 kg ha^{-1} de N na forma de uréia na entrelinha.

O controle de pragas no milho, em especial lagartas, foi realizado mediante a duas aplicações de inseticida deltametrina ($7,5 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a.). O florescimento pleno do milho ocorreu 64 dias após sua emergência e a colheita foi realizada no dia 1 de abril de 2007. Utilizou-se uma colhedora de parcelas, onde à partir das duas fileiras centrais foram obtidos os dados de produtividade dos tratamentos.

Durante a condução da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Determinada por ocasião do pendoamento da cultura, onde foram coletadas 10 plantas que foram levadas ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura média de $60 - 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até atingirem massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha^{-1} .

b) Teor foliar de macronutrientes e silício

Para determinação dos teores de macronutrientes e silício foram utilizadas o terço médio das folhas da base da espiga, amostradas no pendoamento (Raij & Cantarella, 1997). As folhas foram submetidas a uma lavagem rápida com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a $60-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), e de Si segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

c) Componentes da produção

- **População de plantas:** por ocasião da colheita, foi avaliada a população de plantas através da contagem das plantas em duas linhas de 5m na área útil das subparcelas.

- **Número de espigas por planta:** por ocasião da colheita, foi avaliada o número de espigas por planta através da contagem das espigas em duas linhas de 5m na área útil das subparcelas.

- **Número grãos por espiga:** obtido através da contagem em quatro espigas por subparcela.

- **Massa de 100 grãos:** obtido através da coleta ao acaso e pesagem de 2 amostras de 100 grãos por subparcela.

d) Produtividade de grãos

Os grãos obtidos pela colheita mecânica foram pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} (13% base úmida).

4.4.2 Culturas de safrinha

As culturas de outono/inverno ou “safrinha” foram semeadas e conduzidas da seguinte forma:

4.4.2.1 Aveia branca

No dia 5 de abril de 2007, antes da semeadura da primeira cultura de safrinha, no caso a aveia branca, após a cultura da soja, foi realizada a dessecação da área utilizando-se herbicida glifosate (1800 g ha^{-1} do i.a.).

No dia 10 de abril de 2007 foi realizada a semeadura da aveia branca no sistema Safra – Safrinha, utilizando-se a variedade IAC 7. Foram semeadas 60 sementes viáveis por metro. Para a semeadura foi utilizada semeadora - adubadora modelo Personalle Drill 13 Semeato para plantio direto, com 10 linhas no espaçamento de 0,17m.

Não foi realizada adubação de semeadura. No entanto, aos trinta dias após a emergência, foi realizada uma adubação de cobertura com 40 kg ha^{-1} de N na forma de uréia.

Durante o ciclo da cultura, não foi necessário o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças ou ervas daninhas, pois nenhuma delas chegou ao nível de dano econômico. A colheita foi realizada no dia 30 de julho de 2007 com o auxílio de uma colhedora de parcelas.

Durante a condução da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Determinada por ocasião do florescimento pleno, coletou-se as plantas contidas em 1 m e em duas fileiras na área útil de cada subparcela. Posteriormente foram acondicionadas em saco de papel e levadas ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura média de 60 – 70 °C, até atingir massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha^{-1} .

b) Teor foliar de macronutrientes e silício

Para determinação dos teores de macronutrientes e silício foram utilizadas 50 folhas bandeira por subparcela, coletadas no início do florescimento (CANTARELLA et al., 1997). As folhas foram submetidas a uma lavagem rápida com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e de Si segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

c) Componentes da produção

- **Número de panículas por metro quadrado:** contagem do número de panículas contidas em 2,0 m de fileira de cada unidade experimental e calculado por metro quadrado, no momento da colheita.

- **Número de espiguetas granadas por panícula:** contagem do número de espiguetas granadas de 15 panículas por unidade experimental, coletadas no momento da avaliação do número de panículas/ m^2 .

- **Massa de 1000 grãos:** determinada através da coleta ao acaso e da pesagem de duas amostras de 1000 grãos de cada unidade experimental -13% base úmida.

d) Produtividade de grãos

Os grãos obtidos pela colheita mecânica foram pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} (13% base úmida).

4.4.2.2 Feijão

No dia 1 de abril de 2008, antes da semeadura da segunda cultura de safrinha, no caso o feijão, após a cultura do milho, foi realizada a dessecação da área utilizando-se herbicida glifosate (1800 g ha^{-1} do i.a.).

No dia 5 de abril de 2008 foi realizada a semeadura do feijão no sistema Safrinha – Safrinha, utilizando-se a cultivar Pérola. Foram semeadas 18 sementes viáveis por metro.

Para a semeadura foi utilizada semeadora - adubadora modelo Personal Drill 13 Semeato para plantio direto, com 5 linhas no espaçamento de 0,45m. Não foi realizada adubação de semeadura. No entanto, aos trinta dias após a emergência, foi realizada uma adubação de cobertura com 40 kg ha^{-1} de N na forma de uréia.

O florescimento pleno do feijoeiro ocorreu 41 dias após sua emergência e a colheita foi realizada no dia 5 de julho de 2008. Durante o ciclo da cultura, não foi necessário o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças ou ervas daninhas, pois nenhuma delas chegou ao nível de dano econômico.

Durante a condução da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Determinada por ocasião do florescimento pleno das plantas, onde foram coletadas em local pré-determinado na área útil de cada subparcela, 10 plantas que foram acondicionadas em saco de papel e levadas ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura média de $60 - 70 ^\circ\text{C}$, até atingir massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha^{-1} .

b) Teor foliar de macronutrientes e silício

Para determinação dos teores de macronutrientes e silício foram utilizadas a terceira folha com pecíolo, tomadas no terço médio de 50 plantas de feijão por

subparcela, coletadas no início do florescimento (AMBROSANO et al., 1997). As folhas foram submetidas a uma lavagem rápida com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e de Si segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

c) Componentes produtivos

- **População de plantas:** por ocasião da colheita, foi avaliada a população de plantas através da contagem das plantas em duas linhas de 5m na área útil das subparcelas.

- **Número de vagens por planta:** foi obtido através da relação número total de vagens / número total de plantas.

- **Número de grãos por vagem:** foi obtido através da relação número total de grãos / número total de vagens.

- **Massa de 100 grãos:** foi obtida através da coleta ao acaso e pesagem de 2 amostras de 100 grãos por subparcela.

d) Produtividade de grãos

Para determinação dessa variável, realizou-se a colheita manual das plantas contidas nas quatro linhas centrais de cada subparcela. Os grãos obtidos após a trilhagem mecânica foram pesados e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13% base úmida).

4.4.3 Adubos verdes/Plantas de cobertura

As culturas de cobertura e/ou adubos verdes foram semeadas e conduzidas da seguinte forma:

4.4.3.1 Milheto

No dia 5 de abril de 2007, antes da semeadura da primeira cultura de cobertura/Adubo Verde, no caso o milheto, após a cultura da soja, foi realizada a dessecação da área utilizando-se herbicida glifosate (1800 g ha⁻¹ do i.a.).

No 10/04/07 foi realizada a semeadura do milheto, cv BRS 1501 na densidade de 25 kg de sementes por hectare com objetivo de atingir a população de 300 mil plantas por hectare. Para tal operação foi utilizada semeadora - adubadora modelo Personalle Drill 13 Semeato para plantio direto, com 10 linhas no espaçamento de 0,17m. Não foi realizada adubação de semeadura.

Aos 50 DAE, quando ocorreu o florescimento pleno foi realizado o manejo de corte nas plantas a 15 cm do solo para estimular a rebrota e, conseqüentemente, a produção de massa vegetal. Decorridos 35 dias desta operação, foi realizado mais um corte, esse rente ao solo, quando as plantas atingiram novamente o estágio de florescimento.

Durante a condução da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Foi determinada por ocasião do primeiro e segundo florescimento da cultura. Foram coletados as plantas contidas em 1 m em duas fileiras na área útil de cada subparcela, em ceifa rente ao solo, que foram submetidas a secagem em estufa de ventilação forçada, a temperatura média de 60 – 70 °C, até atingir massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha⁻¹. Foram quantificadas as produções de matéria seca do primeiro e do segundo corte e a produção total de matéria seca.

b) Teor de macronutrientes e silício nas plantas

Para determinação dos teores de macronutrientes e silício foram utilizadas a parte aérea de plantas coletadas aleatoriamente em cada subparcela, durante o período de florescimento pleno relativo ao primeiro corte das plantas. O material vegetal foi submetido a uma lavagem rápida com água destilada e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas, sendo em seguida moído em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e de Si, segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

4.4.3.2 Guandu

No dia 1 de abril de 2008, após a colheita da cultura do milho e antes da semeadura do segundo Adubo Verde/Planta de cobertura, no caso o guandu, foi realizada a dessecação da área utilizando-se herbicida glifosate (1800 g ha^{-1} do i.a.).

No dia 5 de abril de 2008 foi realizada a semeadura do guandu utilizando-se a cultivar IAPAR 43. Foram semeadas 20 sementes viáveis por metro utilizando-se uma semeadora - adubadora modelo Personalle Drill 13 Semeato para plantio direto, com 5 linhas no espaçamento de 0,45m. Não foi realizada adubação de semeadura.

O florescimento pleno ocorreu no dia 1 de julho de 2008. Nesta ocasião procedeu-se a ceifa mecânica das plantas para estimular a rebrota, o que não ocorreu.

Durante o ciclo da cultura, não foi necessário o uso de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças ou ervas daninhas pois nenhuma delas chegou ao nível de dano econômico.

Durante a condução da cultura foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Foi determinada por ocasião do florescimento pleno, após corte rente ao solo, coletando-se as plantas contidas em 1 m em duas fileiras na área útil de cada subparcela, que foram submetidas a secagem em estufa de ventilação forçada, a temperatura média de $60 - 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até atingir massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha^{-1} .

b) Teor de macronutrientes e silício nas plantas

Para determinação dos teores de macronutrientes e silício foram utilizadas a parte aérea de plantas coletadas aleatoriamente em cada subparcela, durante o período de florescimento pleno. O material vegetal foi submetido a uma lavagem rápida com água destilada e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a $60-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por 72 horas, sendo em seguida moído em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e de Si segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

4.4.4 Forrageira perene - *Brachiaria ruziziensis*

A implantação e a condução da forrageira perene em sucessão ou em consórcio com as culturas graníferas no sistema Safra – Forrageira estão descritas abaixo:

4.4.4.1 Soja - Braquiária

Após a colheita da soja semeou-se a *Brachiaria ruziziensis* em linhas sobre a palhada com uma semeadora de plantio direto. A densidade de semeadura foi de 10 kg ha⁻¹ (VC = 25%), com o objetivo de semear 2,5 kg de sementes puras viáveis por hectare (Kluthcouski et al., 2000), na profundidade de 4 cm e no espaçamento de 0,17 m.

4.4.4.2 Milho - Braquiária

Na cultura do milho a *Brachiaria ruziziensis* foi implantada na forma consorciada. Semeou-se a forrageira juntamente com o milho, porém a forrageira estava presente na caixa de fertilizante da semeadora misturada a este. A densidade de semeadura foi de 10 kg ha⁻¹ (VC = 25%), com o objetivo de semear 2,5 kg de sementes puras viáveis por hectare (Kluthcouski et al., 2000), na profundidade de 7 cm no mesmo espaçamento da cultura do milho 0,90 m.

Durante a condução das culturas forrageiras, foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da matéria seca

Antes da semeadura da próxima cultura de verão, foi realizada a quantificação da produção de matéria seca da forrageira que permaneceu em livre crescimento durante a entressafra. Para tanto, procedeu-se a coleta de duas amostras em cada subparcela mediante um quadro de 0,25 m² e a ceifa das plantas rente ao solo. O material coletado foi submetido a secagem em estufa de ventilação forçada, a temperatura média de 60 – 70 °C, até atingir massa constante e posterior pesagem, transformando os dados para kg ha⁻¹.

b) Teor de macronutrientes e silício nas plantas

O material vegetal coletado para determinação da massa de matéria seca foi submetido a uma lavagem rápida com água destilada e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas, sendo em seguida moído em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram avaliados segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e de Si segundo técnica descrita por Elliot & Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (1999).

4.4.5 Características químicas do solo

As características químicas do solo (pH, Matéria Orgânica, H+Al, P, K, Ca, Mg, Al⁺³ e Si) foram determinadas aos 6 meses (abril de 2007), 12 meses (outubro de 2007) e aos 18 meses (abril de 2008) após a aplicação dos corretivos, nas camadas de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m.

Foram retiradas aleatoriamente, sempre na entrelinha da cultura antecessora, seis amostras simples na área útil de cada subparcela, para constituir uma amostra composta, com auxílio de trados do tipo tubular fechado.

As amostras compostas foram secas e peneiradas (malha 2 mm) e analisadas seguindo metodologia proposta por Raij et al. (2001) com exceção ao silício, onde seguiu-se a metodologia proposta por Korndörfer et al. (1999) utilizando-se como extrator o cloreto de cálcio.

4.4.6 Características físicas do solo

Em outubro de 2008, foram coletadas amostras indeformadas do solo para determinação de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, por meio de anéis volumétricos. As amostras foram retiradas em dois pontos dentro de cada subparcela. Também foram determinadas a estabilidade de agregados e a resistência mecânica do solo à penetração.

Na análise de densidade do solo, foi usado o método do anel volumétrico. A porosidade total foi obtida pela porcentagem de saturação em volume. A microporosidade foi considerada como o conteúdo do volume de água equilibrada na mesa

de tensão a 0,60 m de coluna de água, enquanto a macroporosidade foi calculada por diferença de volume entre a porosidade total e a microporosidade (Embrapa, 1997).

Para a avaliação da estabilidade de agregados, foram coletadas quatro amostras de solo por subparcela, com o auxílio de uma espátula, retirando torrões com dimensões aproximadas de 0,05 m de altura por 0,15 m de comprimento e 0,10 m de largura, nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente pré-selecionadas em um jogo de peneiras sobrepostas, tendo as peneiras superior e inferior malhas de 8 e 4 mm, respectivamente. Para a avaliação da estabilidade dos agregados utilizou-se a porção que passou pela malha de 8 mm e ficou retida na de 4 mm.

Para avaliar a estabilidade de agregados via úmida foram usados 25 g de solo de cada amostra, que foram pré-umedecidos, conforme o princípio de umedecimento lento descrito por Kemper & Chepil (1965). Depois desse pré-umedecimento, as amostras foram mantidas em repouso em temperatura ambiente por 10 min. Em seguida, essas amostras foram colocadas no aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de diâmetro, conforme descrito por Yoder (1936). Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para potes de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105 °C por um período de 24 h para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas e conhecendo os teores de umidade das amostras de solo submetidas ao tamisamento, foram calculados a porcentagem de agregados retidos na peneira de 2 mm (agregados > 2 mm), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), conforme descrito por Kemper & Chepil (1965). Quanto maior for a porcentagem de agregados grandes, ou seja, retidos nas peneiras com malhas maiores, maior será o DMP. Já o DMG representa uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência.

Os valores de DMP e DMG foram calculados pelas equações 1 e 2, respectivamente, propostas por Castro Filho et al. (1998):

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (1)$$

sendo x_i = diâmetro médio das classes de agregados; w_i = proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = (\exp \sum_{i=1}^n (w_i \cdot \log x_i)) / (\sum_{i=1}^n w_i) \quad (2)$$

sendo w_i = peso dos agregados de cada classe (g); x_i = diâmetro médio das classes; w_i = proporção de cada classe em relação ao total.

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada utilizando-se um penetrômetro hidráulico-eletrônico desenvolvido por Santos & Lanças (1999). Foi realizada 2 perfurações por parcela até a profundidade de 0,40m. No mesmo instante, foram coletadas 2 amostras por subparcela, para posterior secagem e avaliação da umidade do solo.

4.4.7 Custo de produção

O custo de produção foi determinado para cada um dos tratamentos. A metodologia para o cálculo do custo foi baseada no custo operacional total (COT), desenvolvida pelo Instituto de Economia Rural (Matsunaga, 1976).

O custo operacional efetivo foi representado pelas despesas com mão-de-obra, sementes, fertilizantes, defensivos, reparos de máquinas, equipamentos, entre outros. Adicionando-se a essas despesas uma parcela dos custos fixos representados pelas despesas com depreciação dos bens duráveis empregados no processo de produção, juros de custeio, e outras despesas operacionais determinou-se o COT.

Para estimar a lucratividade dos tratamentos, foi estimada a receita bruta como o produto da produção pelo preço de venda atualizado; a receita líquida pela diferença entre a receita bruta e o custo operacional total (Martin, 1997).

4.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Os dados referentes a análise química de solo, aos seis meses, e os das culturas de soja, safrinhas, adubos verdes e forrageiras perenes foram analisados

comparando somente as médias dos corretivos, mediante teste de t (LSD) a 5% de probabilidade, pois até esse momento não havia introduzido o fator sistemas de produção. Os dados referentes as análises químicas de solo, aos 12 e 18 meses e os da cultura do milho analisados considerando os fatores corretivos e sistemas de produção, mediante teste de t (LSD) a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características físicas do solo

5.1.1 Densidade, porosidade e estabilidade dos agregados do solo

Os valores obtidos na avaliação das características físicas do solo estão contidos nas Tabelas 5, 6, e 7 nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Os valores de densidade do solo, porosidade total, microporosidade, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) não sofreram qualquer influência de aplicação de corretivos, tampouco pelas diferentes sucessões de culturas utilizadas neste estudo.

A aplicação dos corretivos promoveu somente alteração nos valores de macroporosidade do solo nas duas camadas mais superficiais estudadas. Os tratamentos onde foram aplicados o calcário e o silicato apresentaram uma maior quantidade de macroporos. Já se esperava que os corretivos proporcionassem efeitos benéficos indiretos para essa característica, uma vez que o desenvolvimento radicular é beneficiado pela ação dos corretivos. Um sistema radicular mais vigoroso proporciona maior quantidade de canais

na estrutura do solo, favorecendo o aparecimento de macroporos após a decomposição destas raízes. Sabe-se que os macroporos são fundamentais no fornecimento de água prontamente disponível às plantas.

TABELA 5. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0-0,10 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2008.

Tratamentos	Parâmetros físicos do solo						
	Densidade	Pt	Mic	Mac	DMP	DMG	IEA
CORRETIVOS	Mg m ⁻³	-----cm ³ cm ⁻³ -----			-----mm-----		%
Testemunha	1,38	0,39	0,33	0,05b	1,79	1,19	80,35
Calcário	1,37	0,40	0,32	0,07a	1,81	1,17	83,61
Silicato	1,36	0,40	0,32	0,08a	1,68	1,11	79,69
DMS	0,04	0,30	0,32	0,18	0,32	0,29	4,19
CV(%)	4,27	10,95	13,87	24,79	24,91	15,04	7,06
SISTEMAS							
Pousio	1,34	0,37	0,27	0,08	1,84	1,28	78,58c
Safrinha	1,38	0,42	0,34	0,07	1,83	1,17	81,66b
Ad. verde	1,39	0,39	0,33	0,05	1,46	0,89	81,79b
Forrageira	1,37	0,40	0,34	0,06	1,91	1,29	84,84a
DMS	0,10	0,70	0,95	0,41	0,47	0,46	2,91
CV(%)	8,10	21,66	21,95	30,76	29,18	23,37	3,01
-----Valores de F-----							
Corretivos (C)	0,86ns	0,30ns	0,23ns	3,08*	0,45ns	0,20ns	2,14ns
Sistemas (S)	0,42ns	0,69ns	1,00ns	1,24ns	1,94ns	1,72ns	9,21*
C*S	2,75ns	0,91ns	1,19ns	1,86ns	0,63ns	0,64ns	1,80ns

* e ns, significativo a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Quanto ao efeito das sucessões de culturas, todas elas proporcionaram valores de IEA superiores à testemunha na camada 0-0,10 m (Tabela 5). Dentre os sistemas, a sucessão safra-forrageira foi a que se destacou, sendo estatisticamente superior à safra-safrinha e safra-adubo verde. Os valores, para a camada superficial, variaram de 79, 82, 82 e 85 % para os as rotações com pousio, safrinha, adubo verde e forrageira. Nas demais profundidades não houve resposta dos sistemas de produção agrícola.

Uma alternativa para melhorar a qualidade estrutural do solo refere-se ao uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer (Silva & Rosolem, 2001). Ehlers et al. (1983) também afirmam que em SSD os canais verticais contínuos servem como rotas, ligando a superfície do solo às camadas mais profundas, proporcionando maior colonização das raízes em profundidade.

TABELA 6. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,10-0,20 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2008.

Tratamentos	Parâmetros físicos do solo						
	Densidade	Pt	Mic	Mac	DMP	DMG	IEA
CORRETIVOS	Mg m ⁻³	-----cm ³ cm ⁻³ -----			-----mm-----		%
Testemunha	1,37	0,39	0,35	0,04b	1,38	0,84	82,61
Calcário	1,42	0,38	0,33	0,05ab	1,25	0,75	82,34
Silicato	1,41	0,39	0,33	0,06a	1,30	0,78	82,16
DMS	0,07	0,02	0,02	0,01	0,22	0,16	3,49
CV(%)	3,22	7,64	8,17	21,01	22,88	17,21	5,81
SISTEMAS							
Pousio	1,41	0,38	0,33	0,05	1,24	0,76	82,41
Safrinha	1,39	0,40	0,34	0,06	1,16	0,69	81,00
Ad. verde	1,41	0,39	0,34	0,05	1,36	0,82	82,15
Forrageira	1,39	0,39	0,33	0,05	1,48	0,90	83,92
DMS	0,05	0,02	0,02	0,02	0,31	0,23	6,26
CV(%)	3,88	5,51	6,27	15,86	25,69	21,86	8,24
-----Valores de F-----							
Corretivos (C)	1,11ns	0,85ns	2,37ns	2,46*	0,85ns	0,77ns	0,04ns
Sistemas (S)	0,52ns	0,93ns	0,32ns	0,71ns	2,09ns	1,58ns	0,37ns
C*S	1,93ns	0,37ns	0,82ns	1,58ns	1,38ns	0,66ns	0,24ns

* e ns, significativo a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Observando os resultados, e conhecendo a agressividade do sistema radicular das plantas forrageiras, em especial as do gênero *Brachiaria*, pode-se inferir que a

maior exploração do solo pelas raízes desta planta favoreceu o IEA do solo em maior proporção que as demais sucessões de culturas.

O maior crescimento de raízes no perfil do solo atua na formação de agregados estáveis, pois a agregação do solo é condicionada por substâncias agregadoras, ou seja, por substâncias que possuem ação cimentante e aglutinadora, como a matéria orgânica (Mielniczuk, 1999), e exsudatos orgânicos liberados pelas raízes.

TABELA 7. Valores de densidade, porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregado (IEA) na camada de solo de 0,20-0,40 m em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP outubro de 2008.

Tratamentos	Parâmetros físicos do solo						
	Densidade	Pt	Mic	Mac	DMP	DMG	IEA
CORRETIVOS	Mg m⁻³	-----cm³cm⁻³-----			-----mm-----		%
Testemunha	1,34	0,43	0,38	0,05	0,94	0,62	86,46
Calcário	1,37	0,43	0,37	0,05	1,04	0,69	86,11
Silicato	1,37	0,42	0,38	0,05	0,99	0,63	84,28
DMS	0,04	0,02	0,02	0,01	0,26	0,19	4,24
CV(%)	13,31	6,15	5,44	28,17	25,30	19,35	6,79
SISTEMAS							
Pousio	1,35	0,42	0,37	0,05	1,01	0,67	86,69
Safrinha	1,34	0,43	0,38	0,05	1,05	0,68	84,47
Ad. verde	1,36	0,43	0,38	0,05	0,87	0,56	83,71
Forrageira	1,37	0,42	0,38	0,05	1,04	0,70	87,60
DMS	0,04	0,02	0,02	0,01	0,27	0,17	5,12
CV(%)	4,28	2,98	4,77	22,70	19,69	18,49	6,48
-----Valores de F-----							
Corretivos (C)	1,14ns	0,20ns	0,62ns	0,51ns	0,35ns	0,40ns	0,65ns
Sistemas (S)	0,66ns	3,38ns	1,29ns	0,83ns	1,02ns	1,34ns	1,73ns
C*S	1,76ns	0,85ns	1,90ns	0,66ns	1,15ns	1,05ns	0,88ns

ns, não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

A literatura preconiza como sendo o solo ideal aquele que apresente valores de 0,10 a 0,16 cm³cm⁻³ para macroporosidade, de até 0,33 cm³cm⁻³ para microporosidade e aproximadamente 0,50 cm³cm⁻³ para porosidade total do solo (Baver,

1972; Kiehl, 1979). Quanto ao nível crítico da densidade do solo (valor acima do qual o solo é considerado compactado), não existe consenso na literatura. Camargo & Alleoni (1997) consideram crítico o valor de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ em solos franco-argilosos a argilosos. Já De Maria et al. (1999) constataram que acima de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$, em Latossolo Roxo, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes quando o solo estiver na capacidade de campo, o que caracteriza um estado de compactação do solo.

Com base na literatura, os resultados permitem concluir que a macroporosidade está abaixo do ideal, bem como a porosidade total; a microporosidade apresenta-se com valores mais elevados do que os preconizados como ideais e densidade do solo, apresenta-se com valores dentro dos esperados e ideais para o desenvolvimento das culturas, conforme visto anteriormente.

5.1.2 Resistência à penetração

A resistência à penetração e a umidade do solo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, em função dos diferentes sistemas de produção agrícola estão representadas na Figura 1 A e B. De acordo com Imhoff et al. (2000), a determinação da curva de resistência do solo é um parâmetro útil na avaliação da qualidade física do solo, permitindo a identificação de solos potencialmente limitantes ao crescimento das plantas.

A aplicação de corretivos da acidez do solo não influenciou a resistência à penetração do solo. A curva de resistência do solo é um parâmetro que pode ser considerado proporcional à umidade do solo, como se pode constatar na Figura 1. Pode-se inferir é que na camada superficial (0-0,05 m), as sucessões de culturas proporcionaram menores valores de resistência à penetração, diferindo estatisticamente da sucessão safrapousio. Nas demais camadas estudadas (0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), não houve diferença entre os sistemas de produção estudados.

A resistência à penetração foi crescente de acordo com o perfil estudado, variando de 1,70 a 3,6 MPa, estando próximos ao valor considerado limitante, que seria em torno de $2,5 \text{ kg cm}^{-2}$ (Taylor, 1971). As sucessões de cultura, após os cultivos de verão, proporcionaram os menores valores considerando a camada superficial (0-0,05m). Pode se atribuir a isto o revolvimento superficial do solo causado pela semeadura das

culturas de outrono/inverno e pelo fato da resistência à penetração do solo estar relacionada com a permanência da continuidade dos canais formados pela ação das raízes no solo. A decomposição das raízes por microrganismos gera materiais que atuam como cimentantes nas paredes desses poros, proporcionando maior maleabilidade, se comparados com o solo desprotegido (Abreu, 2000).

Quanto ao teor de umidade no solo (Figura 1B), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, apesar de o sistema safra – pousio ter apresentado valores ligeiramente inferiores quanto a este parâmetro avaliado.

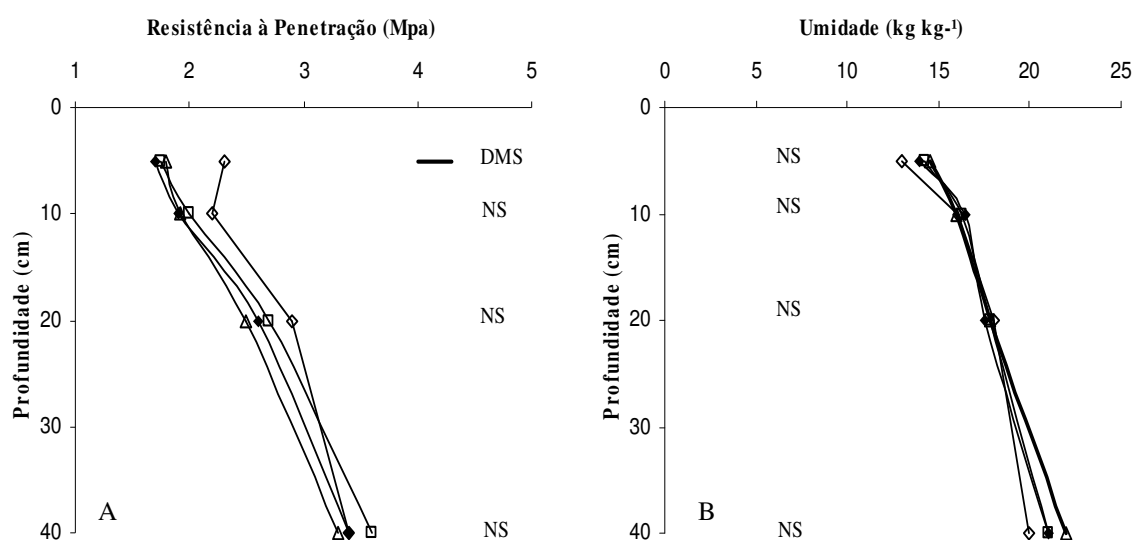


FIGURA 2 - Resistência à penetração (A) e umidade do solo (B) em função de diferentes sistemas de produção agrícola (Safra – Pousio (◇), Safra – Forrageira (Δ), Safra – Safrinha (□) e Safra – Adubo Verde (●)) sob sistema plantio direto. Botucatu-SP (2008).

5.2 Características químicas do solo

As características químicas do perfil do solo, em três épocas de amostragem, aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação dos corretivos, estão apresentadas em função da aplicação dos corretivos do solo (calcário e silicato) nas sucessões de culturas estudadas (Safra – Forrageira, Safra – Safrinha, Safra – Pousio e Safra – Adubo Verde).

5.2.1 Seis meses após a aplicação dos corretivos

Na Figura 2, estão contidos os valores de pH, matéria orgânica, H+Al e alumínio, seis meses após a aplicação dos corretivos. Para os valores de pH do solo, observa-se que, na camada mais superficial (0-0,05m), ambos os corretivos foram eficientes na correção da acidez do solo. Por outro lado, na camada 0,05-0,20m, somente o silicato conseguiu elevar os valores de pH em relação à testemunha.

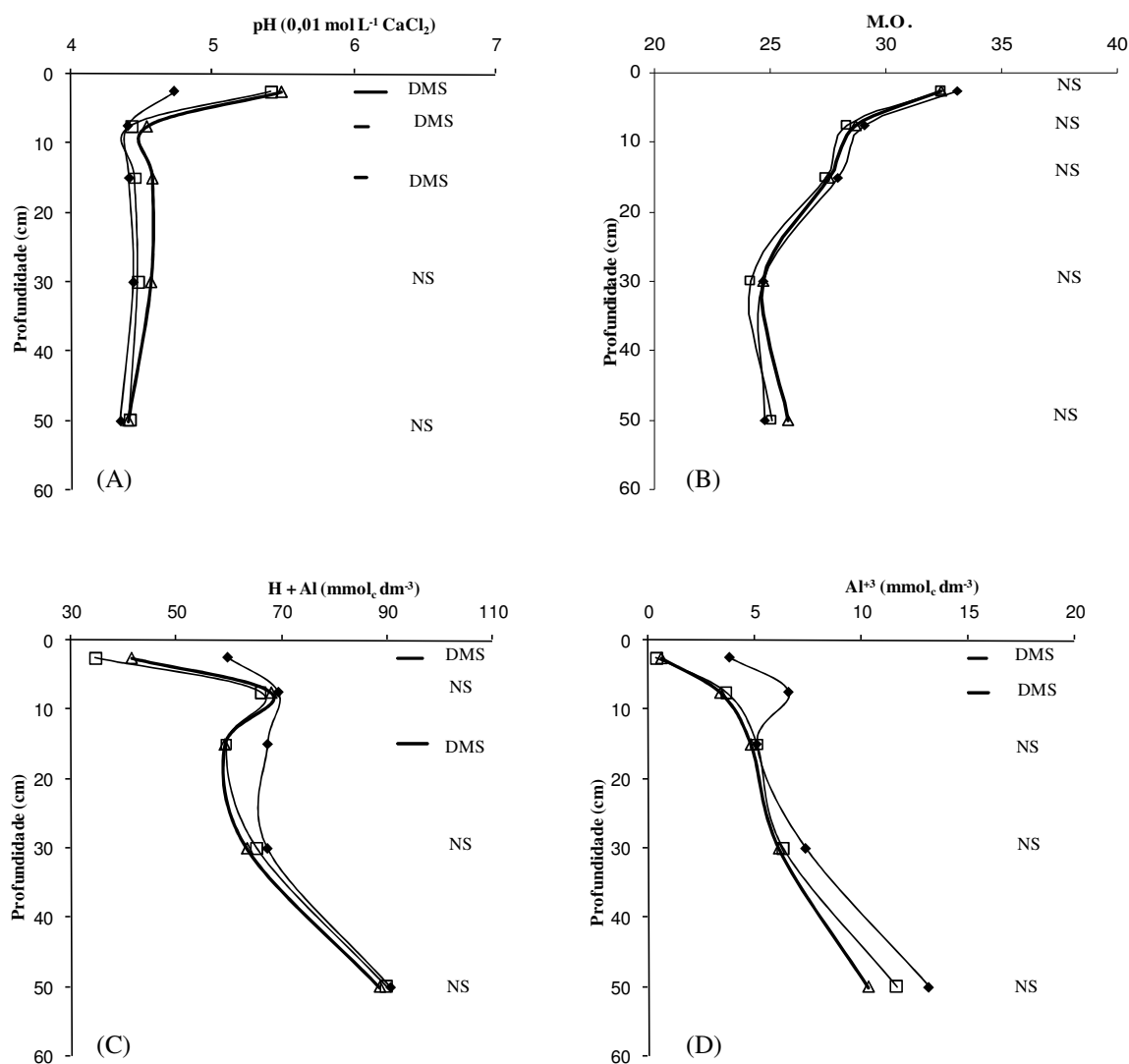


FIGURA 3. Valores de pH (A), matéria orgânica (B), H+Al (C) e Al³⁺ (D) no solo em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), seis meses após tratamento.

Corrêa et al. (2007), estudando o efeito do calcário e silicato no perfil do solo, verificaram que, apenas três meses após a aplicação superficial, o silicato corrigiu o pH do solo até a camada 0,40m, enquanto a mesma dose de calcário elevou o pH apenas nos primeiros 0,05m, levando a crer que a aplicação de silicato proporciona a movimentação de íons com maior velocidade que a aplicação de calcário. Concordando com isso, Soratto e Crusciol (2008a), avaliando efeito doses de calcário em um Latossolo Vermelho distroférico na região de Botucatu – SP, observaram elevação do pH do solo apenas na camada 0-0,05, aos três meses após a aplicação superficial de calcário. Avaliando as características químicas e físicas de alguns corretivos de acidez do solo, Alcarde (1985) concluiu que o silicato é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio. Com isso, seus efeitos benéficos podem ser observados em profundidade em um menor espaço de tempo, conforme constatado no presente trabalho, sendo portanto considerado uma alternativa viável para aplicações superficiais visando a neutralização da acidez ativa do solo em sistema plantio direto.

Para matéria orgânica (M.O.) do solo, não foi constatado nenhum efeito dos corretivos sobre seus valores. Mesmo a maior produção, e conseqüente deposição, da matéria seca da cultura da soja cultivada em parcelas que receberam corretivos do solo, não foi capaz de alterar de forma significativa os valores de M.O. O curto período entre a colheita da soja e a avaliação da M.O. do solo pode explicar esta ausência de efeito. Poder-se-ia esperar uma redução nos valores de M.O. do solo onde foram aplicados os corretivos, pois a elevação do pH favorece a mineralização da mesma, reduzindo seu valor no perfil do solo (Rosolem et al., 2003), fato não ocorrido no presente trabalho.

Os valores de H+Al foram alterados de acordo com a aplicação dos corretivos. Observa-se que os valores da acidez potencial do solo foram reduzidos nas camadas 0-0,05 e 0,10-0,20m, evidenciando o efeito benéfico dos corretivos, quanto à redução destes valores no perfil do solo. Efeito semelhante ocorreu nos valores de alumínio trocável, porém estes foram observados nas duas camadas mais superficiais. Isso ocorre porque, a aplicação dos corretivos gera o aumento na concentração das hidroxilas no solo, que reagem com o excesso de H^+ em solução promovendo a precipitação do alumínio na forma de $Al(OH)_3$, atóxica às plantas (PAVAN e OLIVEIRA, 1997).

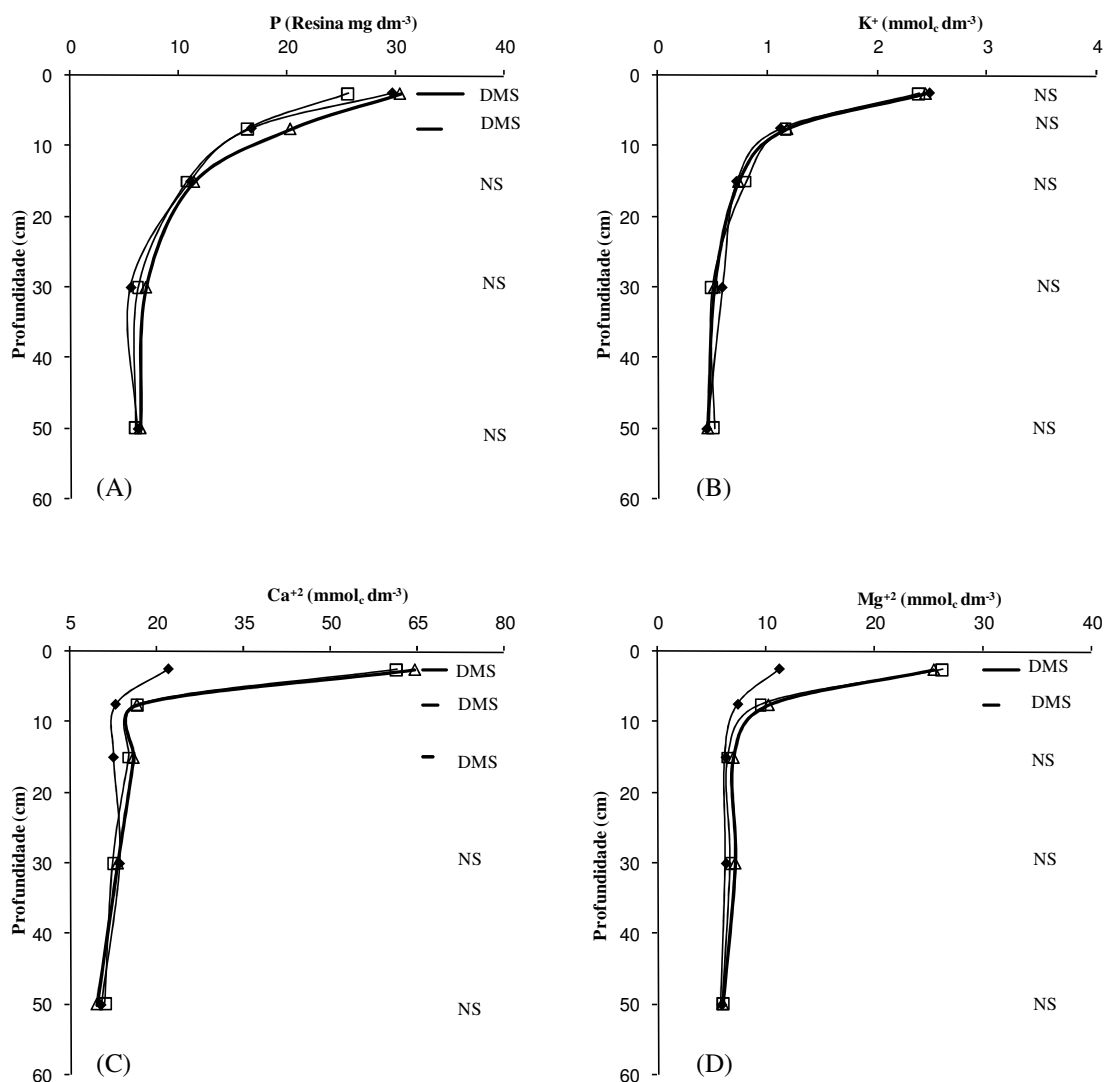


FIGURA 4. Valores de P (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) do solo em função de aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\diamond$)), seis meses após tratamento.

A toxidez de Al é um dos fatores mais limitantes para crescimento vegetal em solos ácidos. O Al inibe o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes. Soratto e Crusciol (2008) observaram redução dos valores de acidez potencial e de Al tóxico até a camada 0,10m aos seis meses após aplicação de doses crescentes de calcário. Esta redução, como foi observado também no presente trabalho, segue a tendência inversa do efeito dos corretivos sobre o pH do solo.

Na Figura 3 podem-se observar os resultados da aplicação superficial de calcário e silicato nos valores de P, K, Ca e Mg.

Para os valores de fósforo no solo, observa-se que ambos os corretivos elevaram a quantidade deste nutriente na camada 0-0,05 em relação à testemunha. Por outro lado, a aplicação de silicato proporcionou maiores valores de P na camada 0,05-0,10 m do que a aplicação de calcário e que a testemunha (sem aplicação). Pulz et al. (2008), estudando a aplicação de silicato e de calcário em solos pobres, observou que a correção do solo com o silicato disponibilizou maiores quantidades de P em relação correção feita com calcário. Esta elevação nos teores de P também foi relatada por Melo e Fernandes (2001) avaliando o efeito do silicato nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Segundo Pluckenet (1972) a aplicação de silicato aumenta a solubilidade do fósforo no solo e diminui a "fixação" desse elemento contido nos fertilizantes fosfatados. Como o ânion silicato é quimicamente adsorvido ao solo, há, a princípio, uma competição entre o Si e o P pelos mesmos sítios de adsorção. Assim, com a aplicação de silicatos, além da correção da acidez, pode haver maior disponibilidade de P pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução (Völkweis & Raij, 1977).

Os teores de K não variaram com a aplicação de corretivos do solo, pois os corretivos não são fontes deste nutriente e seus efeitos pouco interferem na disponibilidade de potássio no solo. A ausência de efeito da aplicação de corretivos do solo nos teores de K do solo também foi observada por diversos autores (Caires et al., 2000; 2006 e Aleoni et al., 2005). Além disso, o possível efeito da maior produção de matéria seca da soja, quando cultivada sob efeito dos corretivos, só seria sentido após a liberação do K presente em sua MS, sendo a presente amostragem de solo muito próxima à degradação da parte aérea desta cultura.

Para os valores de Ca, onde foram adicionados corretivos do solo, os valores foram estatisticamente superiores até a camada de 0,10-0,20 cm. Já para Mg, o efeito se pronunciou somente até a camada 0,05-0,10 m. Isso ocorre porque o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o íon HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, movimenta-se para o subsolo para reagir com a acidez, elevando os teores destes nutrientes nas camadas mais profundas. São raros os trabalhos que demonstram elevação nos teores de Ca e Mg em profundidade apenas seis meses após a aplicação dos corretivos.

Uma das exceções é o trabalho de Corrêa et al., 2007, que obtiveram, também em condições de campo, resposta semelhante, verificando a elevação dos teores de Ca e Mg na camada de 0-0,10 m do solo apenas três meses após a aplicação de silicato. Por outro lado, os mesmos autores observaram estes efeitos somente na camada 0-0,05 quando se aplicou uma dose equivalente de calcário em superfície.

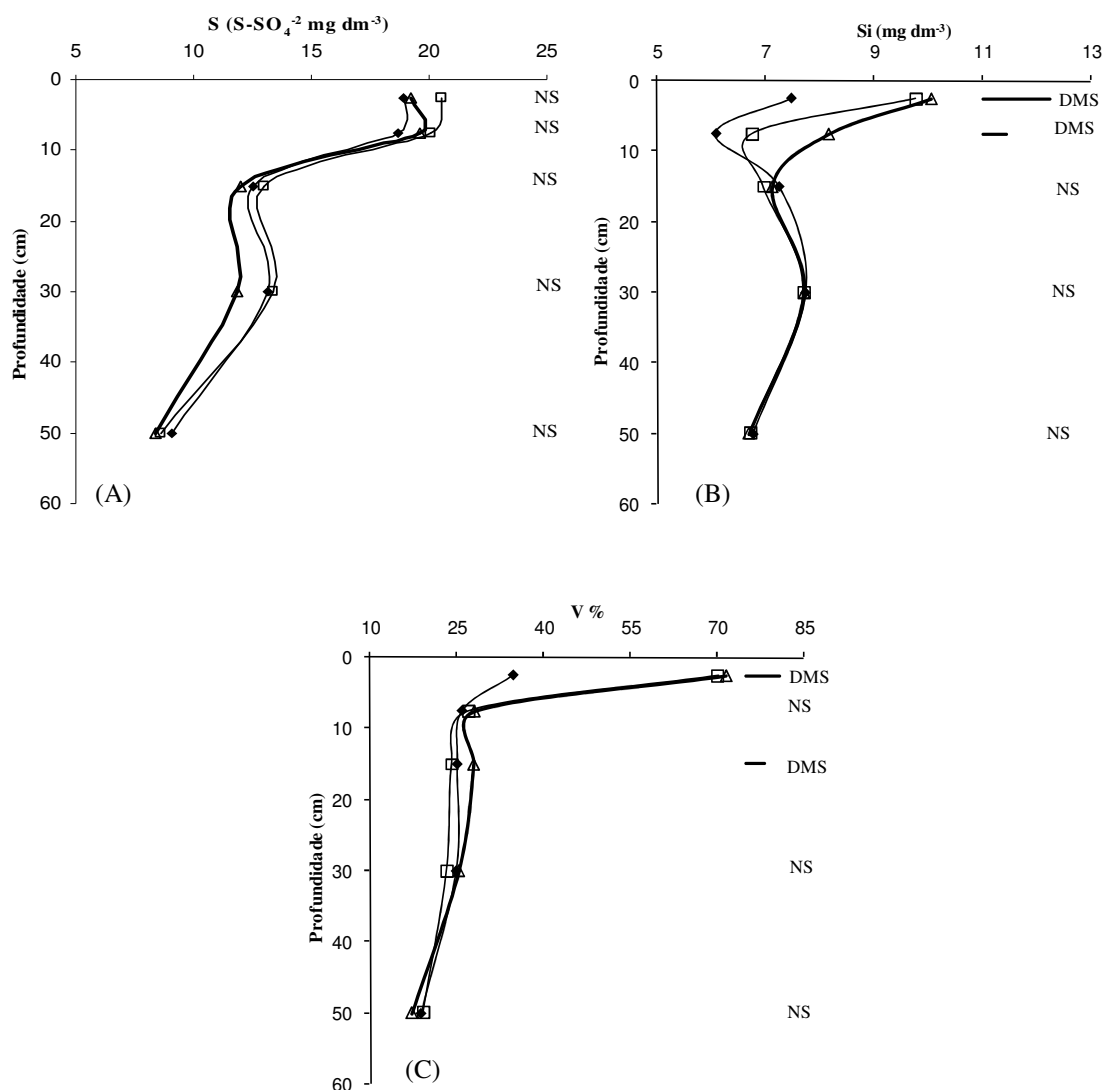


FIGURA 5. Valores de S (A), Si (B) e V% (C) do solo em função de aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\blacklozenge$)), seis meses após tratamento.

Na Figura 4, estão contidos os valores de sulfato, silício e saturação por bases, seis meses após a aplicação dos corretivos. Os valores de sulfato não diferiram quanto à aplicação de corretivos, sendo superiores nas primeiras camadas do solo e tendo os valores decrescentes no perfil. Soratto e Crusciol (2008a) também observaram ausência de efeito de doses de calcário nas camadas superficiais do solo, evidenciando que este elemento pouco se correlaciona com a aplicação de corretivos.

Para o silício, observa-se que na camada superficial, ambos os corretivos elevaram os valores deste elemento, mesmo o calcário não possuindo este elemento em sua fórmula. O aumento nos teores de Si solúvel na profundidade de 0-0,05 m com a aplicação do carbonato pode ser atribuído à solubilização de compostos de sílica com o aumento do pH e/ou devido o aumento do pH no solo reduzir a capacidade dos sítios de adsorção de silício no solo, aumentando a sua concentração na solução (Pereira et al., 2002).

Porém para os valores de silício na camada 0,05-0,10 m, assim como se observou para o pH (Figura 2), a aplicação do calcário deixou de ter efeito, sendo que apenas a aplicação de silicato elevou os teores de Si solúvel. Nas camadas mais profundas, desapareceram os efeitos dos corretivos, nos teores de Si, em relação à testemunha. O maior efeito do silicato nos teores de Si solúvel era de se esperar, pois o mesmo é considerado uma importante fonte de Si para o solo e, conseqüentemente, para as plantas. Pulz et al., 2008 também observou a maior elevação do Si com a aplicação do silicato, quando comparado à aplicação de calcário.

Os valores de V% foram altamente afetados pelos corretivos do solo na camada 0-0,05 m, chegando a valores em torno de 70. Por outro lado, na camada 0,10-0,20 m, somente a aplicação de silicato foi superior à testemunha. Este efeito em profundidade pode estar relacionado à maior solubilidade do silicato em relação ao calcário, e também ao fato da área já estar sendo cultivada sob um sistema plantio direto (SPD) consolidado. Lima (2004), em um Nitossolo Vermelho distrófico textura argilosa, na região de Botucatu-SP, verificou aumento do pH e da saturação por bases até a profundidade de 0,40 m, cinco meses após a aplicação do calcário na implantação do SPD consolidado. Por outro lado, também na região de Botucatu, em um Latossolo Vermelho distroférrico, Barizon (2001) verificou efeito da calagem superficial na diminuição da acidez potencial e elevação do pH apenas na camada superficial (0-0,05 m), 10 meses após a aplicação do

corretivo, na implantação do SPD. Pode-se notar que estes efeitos não estão esclarecidos, por isso ainda existe a demanda por trabalhos que comprovem e expliquem o efeito da aplicação dos corretivos de acidez do solo em sistema plantio direto.

5.2.2 Doze meses após a aplicação dos corretivos

Os valores para as características químicas do solo, 12 meses após a aplicação dos corretivos de acidez do solo estão contidos nas figuras de 5 a 15.

Na Figura 6, constam os valores de pH do solo. Nota-se efeito da aplicação dos corretivos até a camada 0,10-0,20 m em todos os sistemas, diferindo estatisticamente da testemunha (sem aplicação de corretivos). Essa elevação do pH com o uso dos corretivos é decorrente do aumento na concentração das hidroxilas, redução da concentração de H^+ em solução e precipitação do alumínio na forma de $Al(OH)_3$ (PAVAN e OLIVEIRA, 1997).

Analizando o efeito dos produtos em cada sucessão de cultura, no sistema Safra-Forrageira, somente o silicato elevou de forma estatisticamente significativa os valores de pH nas camadas de 0,05 até 0,20 m. Por outro lado, no sistema Safra – Adubo Verde, o calcário, que não foi eficiente na camada 0,05-0,10m, volta a apresentar efeito positivo na camada seguinte. A liberação de compostos de baixo peso molecular da palhada da braquiária e de aveia branca pode ter facilitado este efeito em profundidade (Franchini et al. 2001a). Estes compostos ao encontrarem excesso de prótons H^+ em subsuperfície, se dissociam e neutralizam parte do hidrogênio, favorecendo a elevação do pH.

Já no sistema Safra – Pousio, ambos os corretivos elevaram os valores de pH até a camada 0-0,20m, porém o silicato mostrou uma tendência de ser mais eficiente. Fato que se confirma significativo no sistema Safra – Safrinha, onde, na profundidade de 0,20m, somente o silicato foi capaz de reduzir a acidez do solo, evidenciando seu poder de reação e de correção em profundidade em curto espaço de tempo.

O fato de o silicato ser mais eficiente que o calcário em elevar o pH do solo nas camadas subsuperficiais concorda com os resultados obtidos por Korndörfer et al. (2001), que verificaram que os silicatos propiciaram correção da acidez do solo até as camadas mais profundas estudadas, enquanto o efeito calcário foi apenas superficial. Corrêa

et al. (2007), 15 meses após a aplicação dos corretivos, também observou os mesmos efeitos em um Latossolo Vermelho distroférrico em Botucatu, com o silicato corrigindo o pH do solo até a camada 0,40m, enquanto o calcário foi eficiente somente até a camada 0,10m.

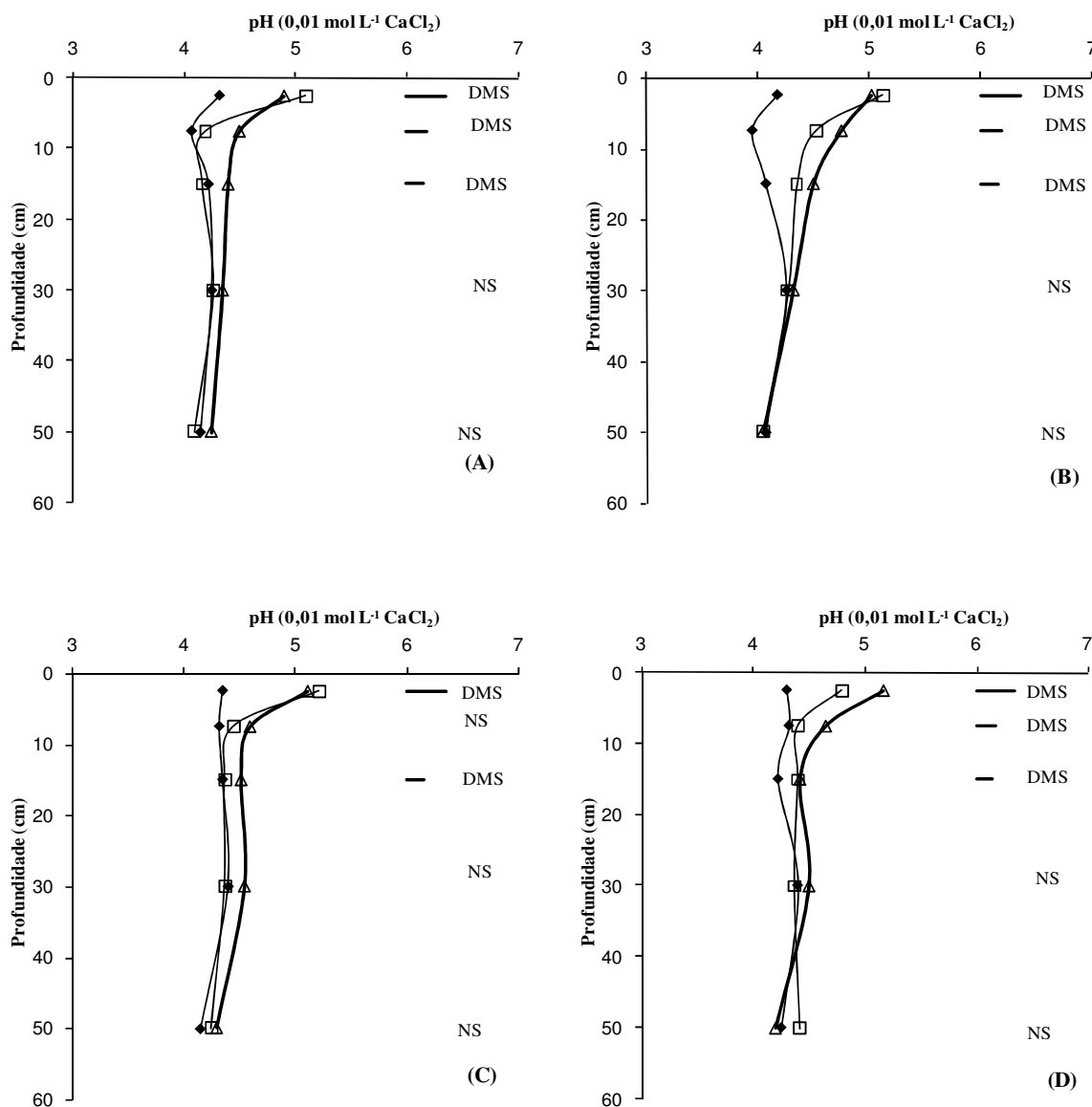


FIGURA 6. Valores de pH do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)), 12 meses após tratamento.

Uma das hipóteses para essa melhor eficiência do silicato em profundidade está ligada à maior solubilidade deste produto, quando comparado ao calcário (Alcarde, 1985). Reagindo mais rapidamente na superfície do solo, o silicato é capaz de promover uma frente de alcalinização, resultando o efeito em profundidade observado neste trabalho.

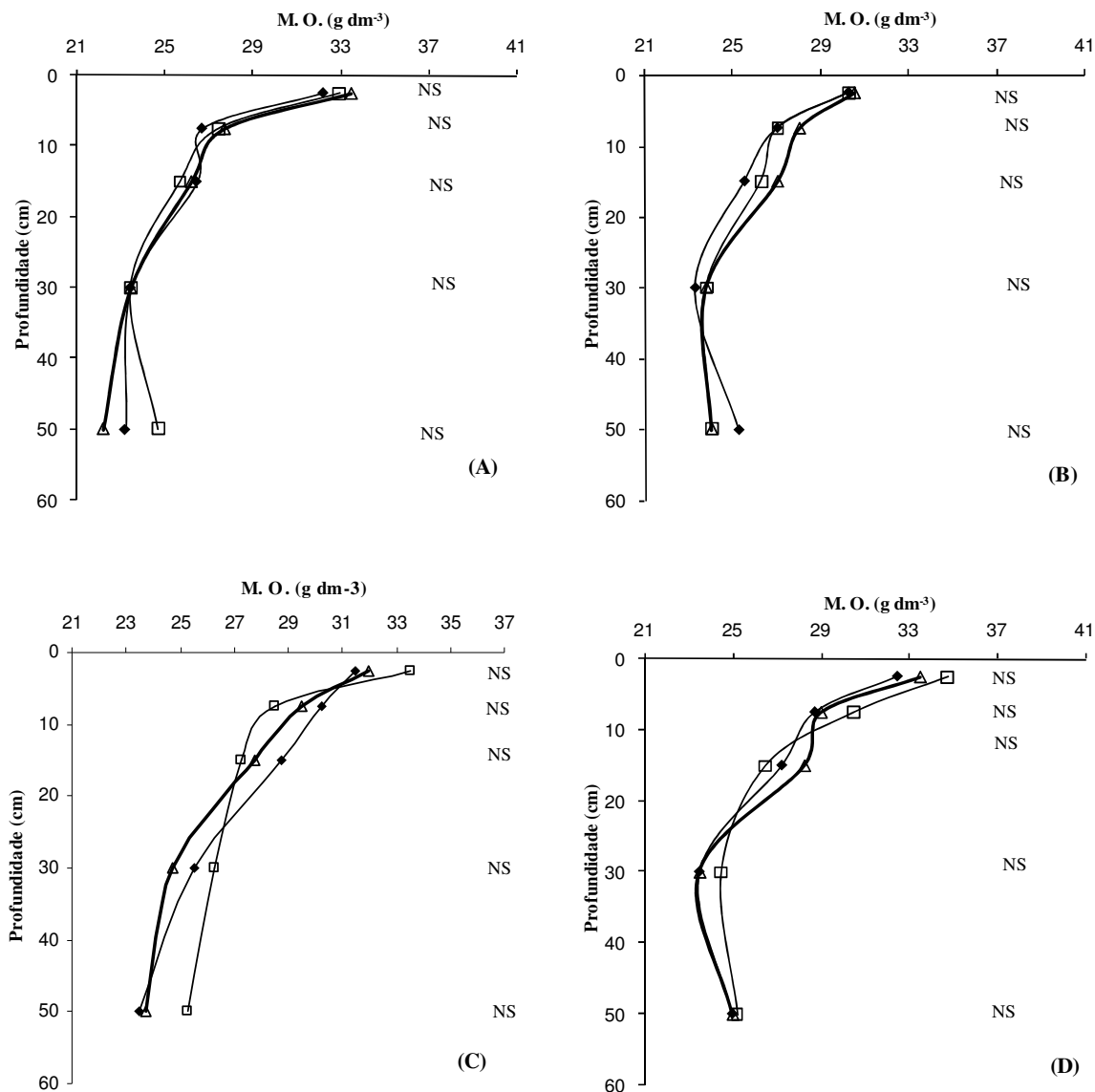


FIGURA 7. Valores de M.O. do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), 12 meses após tratamento.

Já na Figura 7, encontram-se os valores de matéria orgânica (M.O.). Nota-se que não houve efeito dos corretivos sobre os valores de M.O. do solo. Trabalhando com doses e modos de aplicação de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, Alleoni et al. (2005), observaram que não há efeito da aplicação de calcário após 6, 18 e 30 meses sobre os teores de matéria orgânica. Poder-se-ia esperar um efeito indireto dos corretivos na M.O. do solo, pois as plantas cultivadas sob efeito destes produtos apresentaram maior produção de matéria seca. Possivelmente, período para decomposição dos restos vegetais das culturas anteriores pode não ter sido suficiente para se observar tal efeito.

Quanto às sucessões de culturas, o sistema Safra-Pousio apresentou menores valores na camada de 0-0,05 m em relação aos demais sistemas. Adubação verde (SILVA et al., 1999), a rotação de culturas e a utilização de forrageiras são as práticas de cultivo que tem como finalidade manter, ou até mesmo elevar, os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos, indo ao encontro a tendência mundial da busca de alimentos mais saudáveis, provenientes da agricultura orgânica ou produzidos com a mínima utilização de insumos químicos e degradação do meio ambiente. Além disso, o solo descoberto na entressafra proporciona maior vulnerabilidade da camada superficial às intempéries climáticas, como maior amplitude térmica e maior impacto das gotas de chuva, o que pode levar à degradação/mineralização da M.O. do solo.

Na Figura 8 pode-se notar, até 0,40 m de profundidade, redução dos valores de H+Al devido ao efeito dos corretivos, em relação à testemunha. Nos sistemas Safra-Forageira e Safra-Adubo Verde, a aplicação dos corretivos não diferiu entre si na primeira camada (0-0,05 m). Porém nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, o silicato foi mais eficiente em reduzir os valores de H+Al (acidez potencial). No sistema Safra-Pousio, ambos os corretivos foram eficientes até a camada 0,10-0,20, porém na camada seguinte, só o silicato reduziu os valores de H+Al. Por outro, no sistema Safra-Safrinha, o efeito corretivo de ambos prevaleceu apenas na primeira camada. Nas demais camadas, até a profundidade de 0,40 m, o silicato apresentou melhores valores em relação ao calcário, que não foi capaz de neutralizar a acidez potencial do solo.

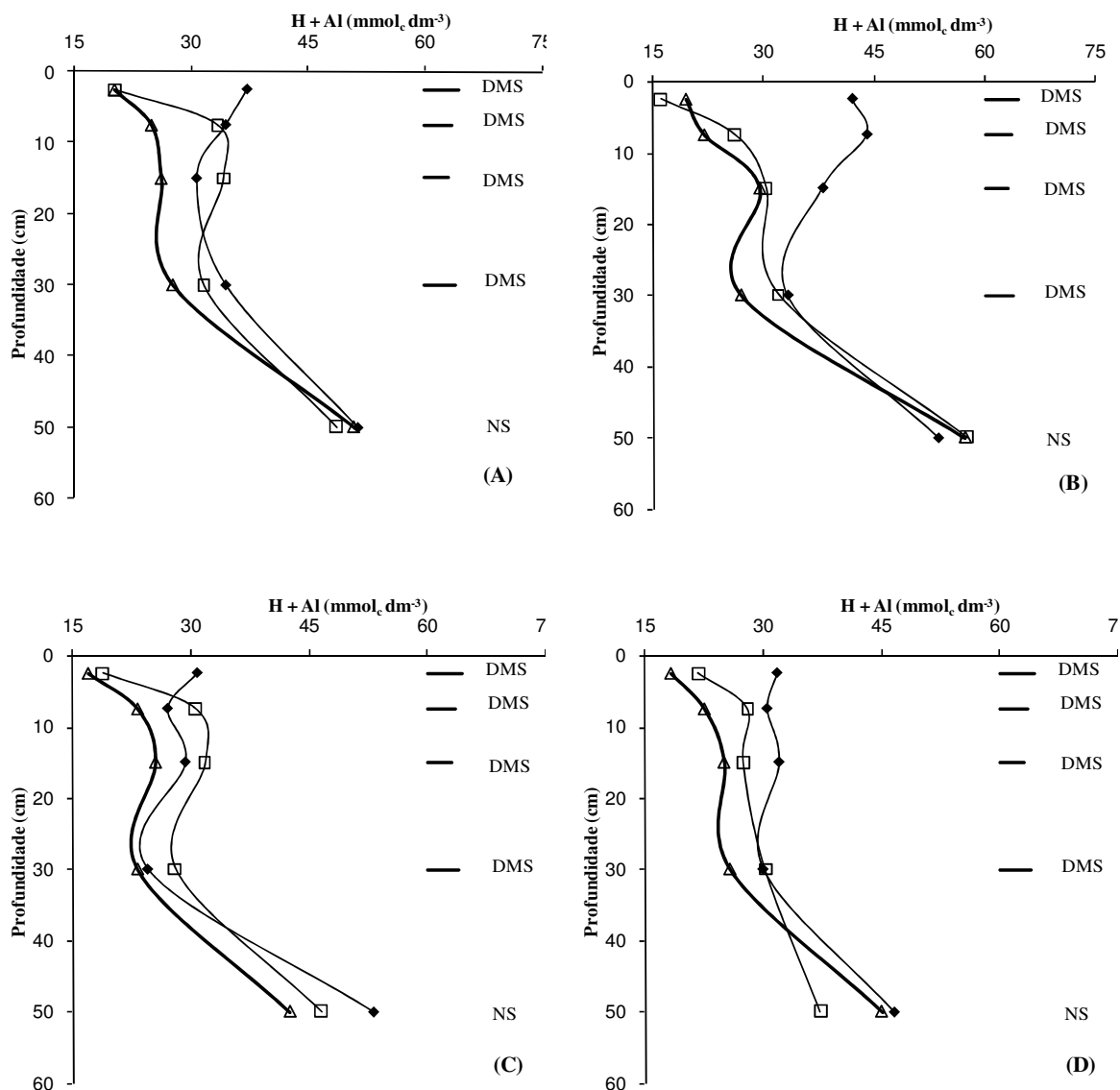


FIGURA 8. Valores de H + Al do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), 12 meses após tratamento.

Apesar do efeito dos corretivos sobre a acidez potencial ter atingido profundidades maiores em relação ao pH, os resultados foram coerentes, ou seja, o efeito foi observado em maior profundidade aos 12 meses após a aplicação em relação à primeira amostragem (Figura 3C). Soratto & Crusciol (2008) verificaram que a aplicação superficial de calcário promoveu diminuição da acidez potencial do solo (H+Al) nas camadas 0,05–0,10 e 0,10–0,20 m, aos seis e 12 meses, respectivamente. Isso ocorre porque, a aplicação dos

corretivos gera o aumento na concentração das hidroxilas no solo, que reagem com o excesso de H^+ em solução promovendo a precipitação do alumínio na forma de $Al(OH)_3$, atóxica às plantas (PAVAN e OLIVEIRA, 1997).

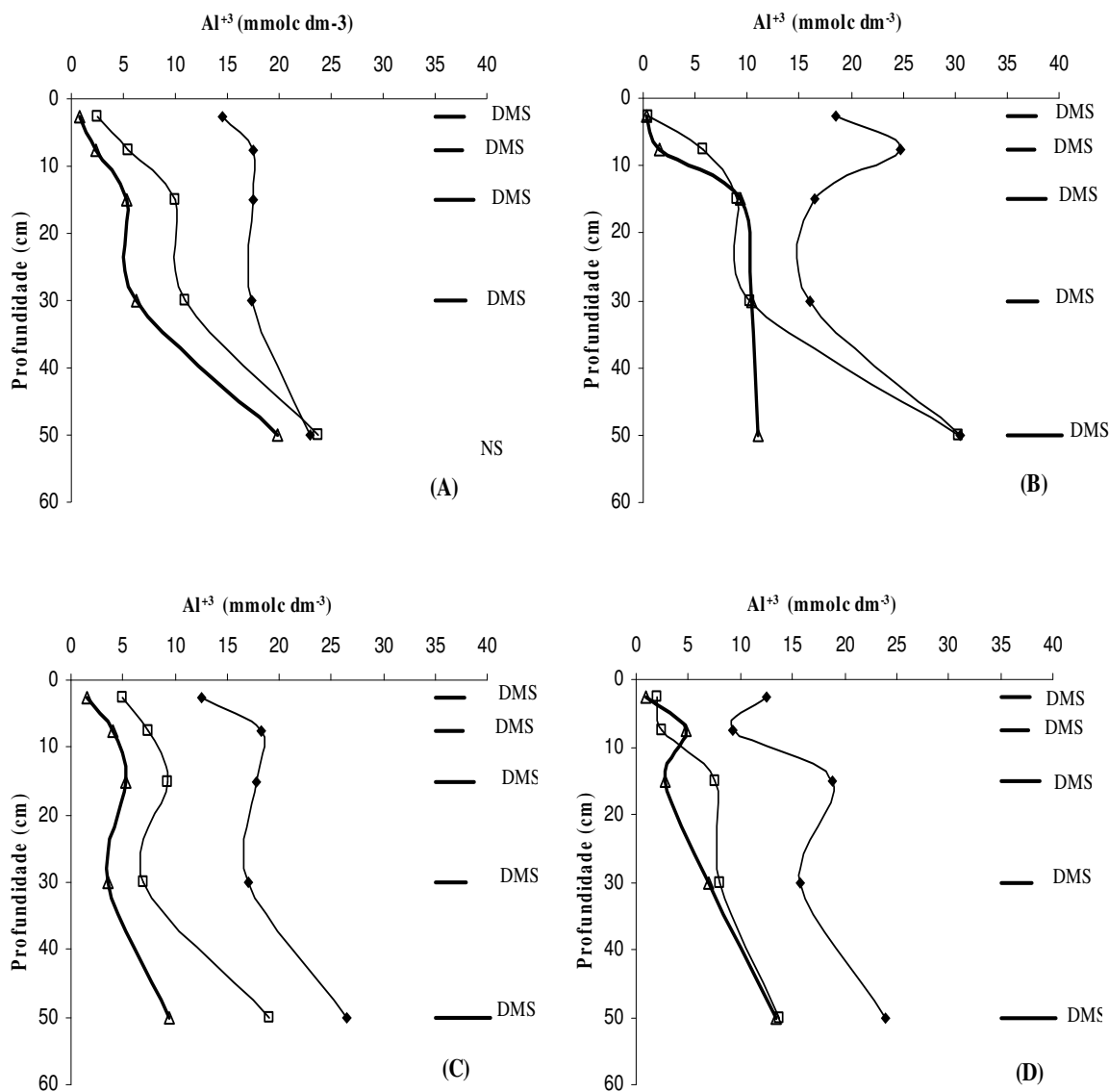


FIGURA 9. Valores de Al^{+3} do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\diamond$)), 12 meses após tratamento.

Comparando as sucessões, no sistema Safra-Pousio, onde não foi aplicado nenhum corretivo do solo, foi onde ocorreram os valores mais elevados de acidez

potencial, notadamente nos primeiros 20 cm de solo. Isso confirma a proposta de Oliveira & Pavan (1996) que atribuíram à presença de resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto, como causa da redução da acidez subsuperficial.

A toxidez de Al é um dos fatores mais limitantes para crescimento vegetal em solos ácidos. O Al tóxico inibe o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes. Na Figura 9 estão os valores de alumínio trocável (Al^{+3}) do solo.

Observa-se que, excluindo o sistema Safra – Forrageira, a utilização de corretivos pode reduzir o Al^{+3} em todo o perfil do solo. Destaca-se ainda o fato de que nos sistemas Safra-Pousio e Safra-Safrinha, o silicato diferiu estatisticamente do calcário na camada mais profunda (0,40-0,60 m), conseguindo neutralizar o alumínio trocável. Mais uma vez, nota-se que os corretivos agiram com maior intensidade no perfil do solo em relação à primeira amostragem de solo, seis meses após a aplicação dos corretivos (Figura 3D) evidenciando que ainda está ocorrendo a reação dos mesmos. Apesar de os teores de Al^{+3} nas camadas superficiais serem altos, a aplicação de calcário e silicato proporcionou diminuição, neutralizando quase totalmente o Al trocável até a camada de 0-0,10 m. Soratto e Crusciol (2008a), aos 12 meses após a aplicação dos corretivos, observaram redução dos valores de Al trocável até a profundidade de 0,40 m.

Pode-se ressaltar ainda que, nos sistemas Safra – Forrageira e Safra – Safrinha, a utilização de silicato se mostrou mais eficiente que a calagem na redução nos teores de Al^{+3} . Os mecanismos de redução do Al tóxico no solo pela adição de compostos ricos em Si se dão pelo incremento do pH do solo (Carvalho et al., 2000), adsorção em hidróxidos de Al (HAS) com conseqüente redução de sua mobilidade, formação de substâncias pouco solúveis com íons de Al, adsorção do Al móvel em superfícies silicatadas e formação de compostos solúveis de Si que podem incrementar a tolerância das plantas ao Al tóxico (Matichenkov & Bocharnikova, 2001). Todos esses mecanismos podem atuar simultaneamente, com alguns prevalecendo sobre os outros, dependendo das condições do solo. A interação do silício com o alumínio, formando o HAS pode explicar a maior neutralização do Al tóxico em profundidade, mesmo sem a alteração dos valores de pH nestas camadas, já que os teores de Si solúvel podem ser elevados até a profundidade 0,60 m com a aplicação de silicato (Figura 15 C).

Observando a Figura 10, onde estão contidos os valores de fósforo, pode-se notar que a aplicação dos corretivos promoveu a elevação dos teores de P em resina até a profundidade de 0,10-0,20 m em todos os sistemas, à exceção do sistema Safrinha-Adubo Verde, onde o efeito foi observado apenas até a camada 0,05-0,10 m.

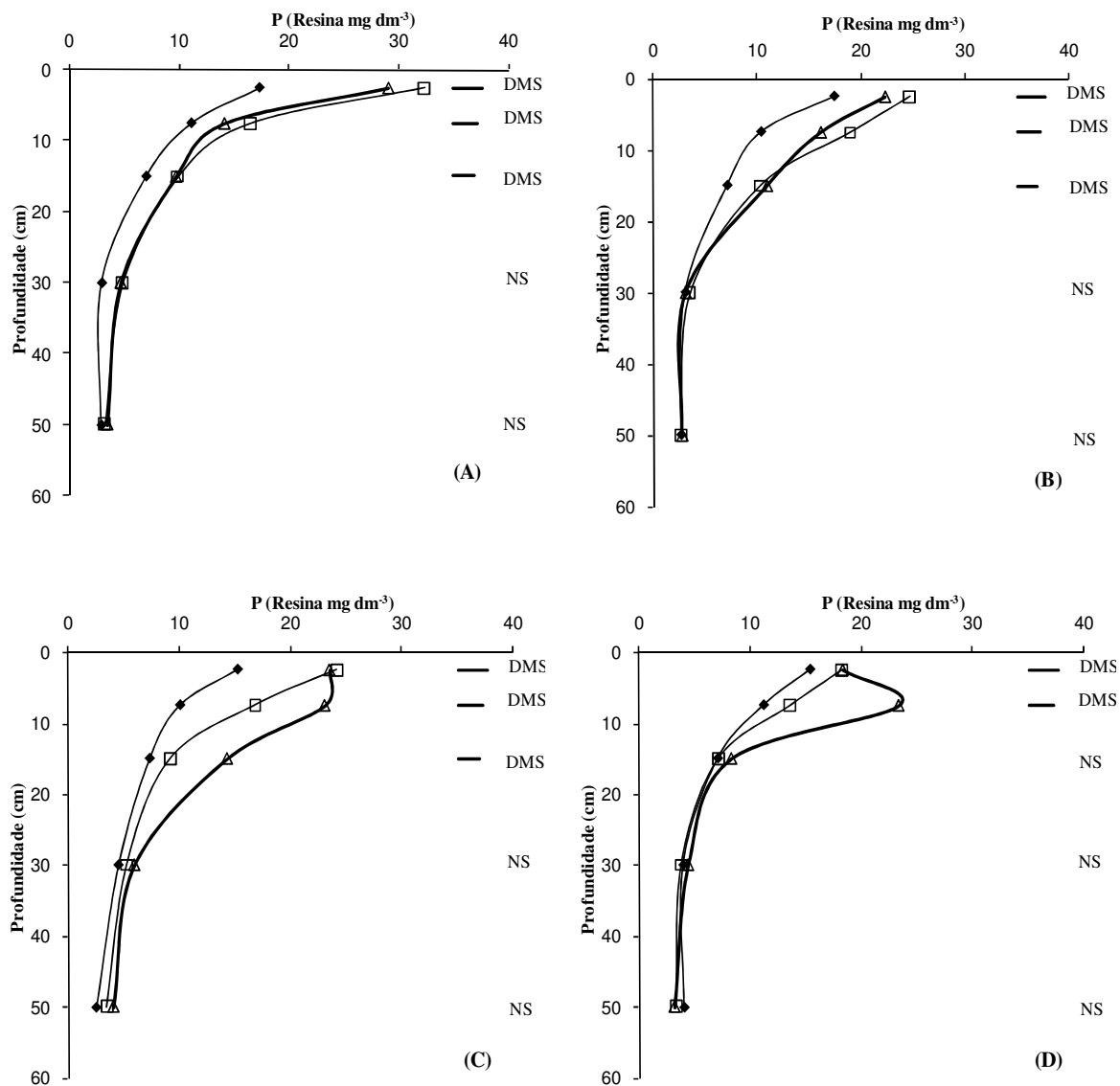


FIGURA 10. Valores de P do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), 12 meses após tratamento.

A elevação do pH do solo pela calagem, aumentando a concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promove a precipitação de Fe e Al, reduzindo a precipitação de P-Fe e P-Al de baixa solubilidade; há, também, geração de cargas negativas pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (Mcbride, 1994).

Entre os dois corretivos, nos sistemas Safra-Safrinha (camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) e Safra-Adubo Verde (camada 0,05-0,10 m), o silicato disponibilizou maiores quantidades de fósforo que o calcário. Pulz et al. (2008) também observou maior elevação da disponibilidade de fósforo quando foi utilizado o silicato como corretivo, comparativamente ao uso do calcário. A maior eficiência dos silicatos sobre o calcário no aumento do P disponível do solo relatado na literatura deve-se mais ao efeito do silício contido no corretivo, exercendo uma competição dos ânions de silicato com o P pelos mesmos sítios de adsorção (Smyth & Sanchez, 1980), do que ao efeito do pH propriamente dito. Na mesma vertente, Lopes (1977) ressalta que a eficiência do silicato em aumentar o P disponível do solo não está somente nesta capacidade de troca dos ânions silicato pelo fosfato no solo e, mas também na saturação ou bloqueio destes sítios de adsorção de P pelo ânion silicato. De qualquer modo estas conclusões, e também o presente trabalho, contrariam Baldeón (1995), que observou que o efeito do silicato no aumento do P disponível ocorre somente por influência da elevação do pH. Os efeitos positivos do silicato no P disponível do solo foram encontrados também por Leite (1997), que sugere a inclusão de silicatos em programas de adubação fosfatada em latossolos intemperizados, objetivando aumentar a eficiência da adubação fosfatada.

Quanto às alterações proporcionadas pelas sucessões utilizadas neste trabalho, nota-se que o sistema Safra-Forageira, quando recebeu corretivos da acidez do solo, proporcionou maior elevação dos teores de P, na camada 0-0,05 m que os demais sistemas. Isso pode estar ligado ao fato dos exudatos das raízes das plantas do gênero *Brachiaria* solubilizarem quantidades significativas de P no solo. Além disso, com a aplicação de corretivos o desenvolvimento da parte aérea, e possivelmente radicular, desta forrageira foi maior, contribuindo para este efeito benéfico nos teores de P.

Para K pode-se observar na Figura 11 que, assim como na primeira amostragem de solo (Figura 4B), aos 12 meses não houve qualquer efeito dos corretivos ou

sucessões de culturas nos valores deste nutriente no perfil do solo. A ausência de efeito da aplicação de corretivos do solo também foi observada por diversos autores (Caires et al., 2000; 2006 e Aleoni et al., 2005) sendo este nutriente caracterizado como pouco influenciável pelas variações do pH do solo.

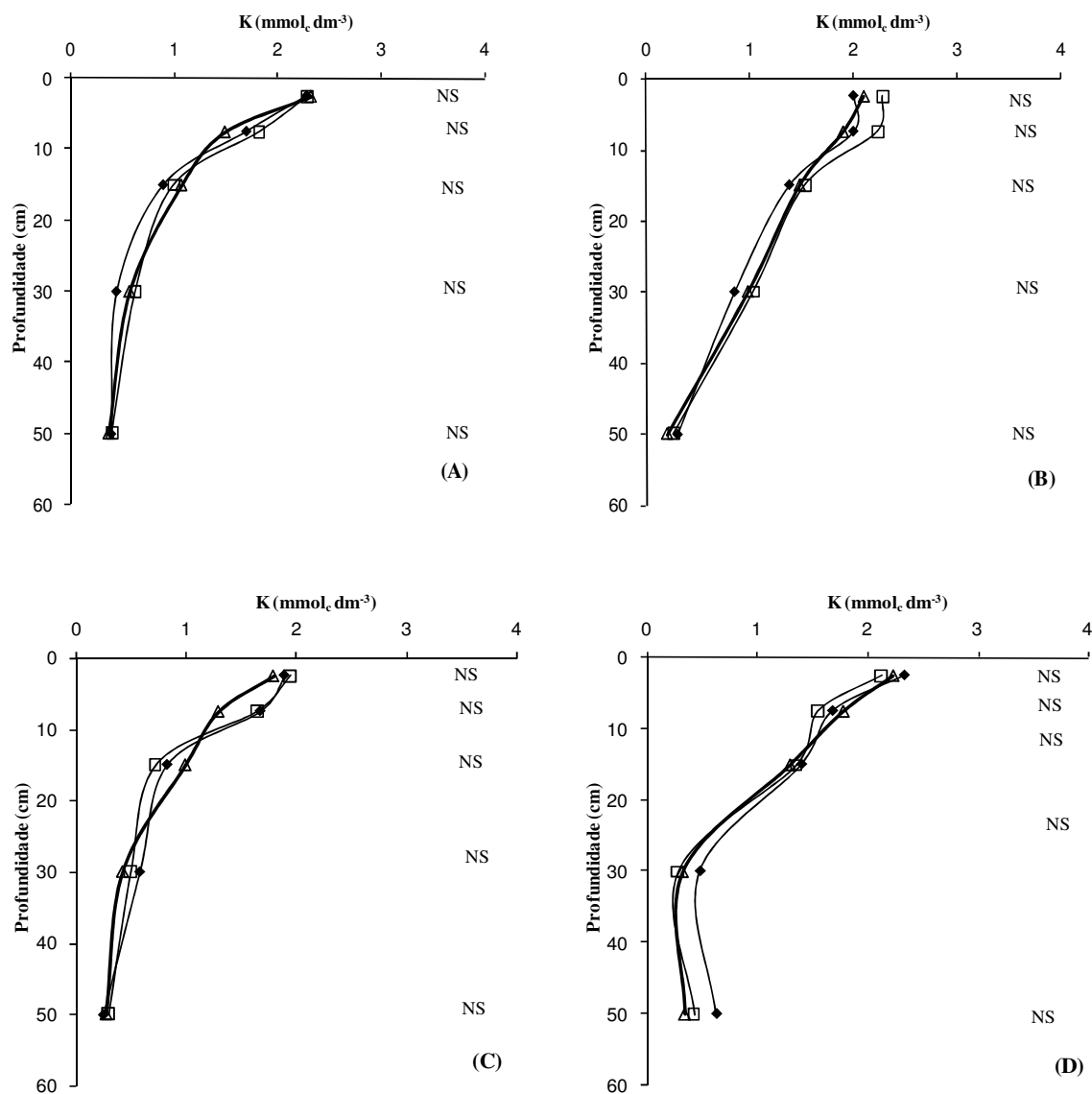


FIGURA 11. Valores de K^+ do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\blacklozenge$)), 12 meses após tratamento.

Esperava-se efeito das sucessões de cultura na ciclagem de K das camadas mais profundas para a superfície do solo. Este efeito não foi observado, provavelmente devido ao curto espaço de tempo entre a colheita/manejo das culturas e a amostragem de solo.

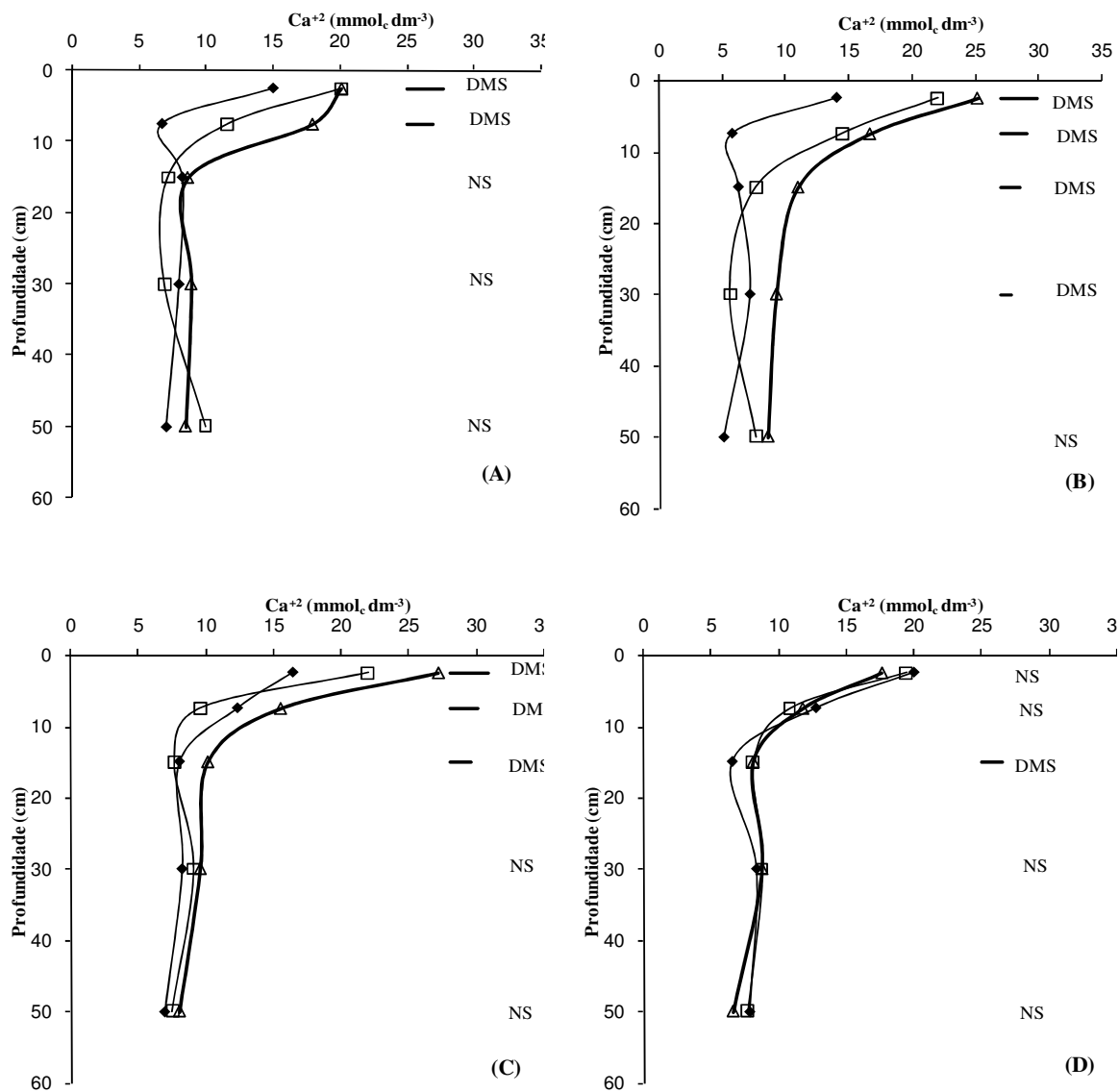


FIGURA 12. Valores de Ca^{+2} do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), 12 meses após tratamento.

Na Figura 12 são apresentados os valores de Ca no solo. Os efeitos da aplicação de corretivos variaram muito entre os sistemas de produção estudados. No sistema Safra-Forageira, ocorreu efeito apenas até a camada 0-0,10. Além disso, neste sistema o silicato conseguiu disponibilizar maiores quantidades de Ca na camada 0,05-0,10 evidenciando seu efeito em profundidade mais rapidamente que o calcário. No sistema Safra-Adubo Verde os corretivos só influenciaram os valores de Ca na camada 0,10-0,20 m. Isso pode ter ocorrido devido à liberação de cálcio pela adubação verde, resultando em altos teores de Ca na camada superficial, mesmo sem a aplicação dos corretivos.

Dentre os dois corretivos, o silicato também elevou em maior grau os valores de Ca que o calcário nos Safra-Pousio (camada 0,10-0,20 m) e Safra-Safrinha (camadas 0-0,05; 0,05-0,10 e; 0,10-0,20 m). O efeito superior do silicato em relação ao calcário, que também foi observado por Corrêa et al. (2007) 15 meses após a aplicação dos corretivos, se deve a maior reatividade e solubilidade do silicato no solo (Alcarde e Rodella, 2003) fazendo com que ele reaja mais rapidamente e seja percolado no perfil do solo. Outro ponto importante é que o aumento do pH na superfície do solo, conforme foi observado no presente experimento, pode ter acelerado a velocidade com que o íon HCO_3^- , acompanhado por Ca, movimentou-se para o subsolo para reagir com a acidez (Caires et al., 2003).

Nos sistemas Safra-Pousio e Safra-Safrinha, a calagem e a silicatagem elevaram mais efetivamente os valores de Ca em superfície em relação aos outros dois sistemas estudados.

Para os valores de magnésio (Figura 13), os resultados da aplicação superficial de corretivos variaram de acordo com o sistema de produção e sucessão agrícola. Os efeitos benéficos da aplicação foram observados até as camadas 0,05-0,10 m (Safra-Forageira), 0,10-0,20 m (Safra-Safrinha), 0,20-0,40 m (Safra-Pousio) e 0,40-0,60 (Safra-Adubo Verde). Esses resultados concordam com os apresentados por Soratto (2005), que verificaram após 12 meses da aplicação dos corretivos que os teores de Mg trocável se elevaram em todo perfil estudado, inclusive com redução nos teores de Al^{3+} .

Entre os sistemas, observa-se que na sucessão Safra – Forrageira e Safra – Pousio, o calcário elevou em maior proporção o Mg trocável quando comparado ao silicato. Na camada seguinte, para os dois sistemas, os corretivos não diferiram entre si. Na camada 0,10-0,40 (somente no sistema Safra – Pousio) o silicato disponibilizou mais Mg. O

melhor desempenho do silicato em fornecer magnésio também foi notado nos sistemas Safrinha – Safrinha (0,05-0,20) e Safrinha – Adubo verde (camadas 0,05-0,10; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), evidenciando o melhor efeito deste corretivo em profundidade.

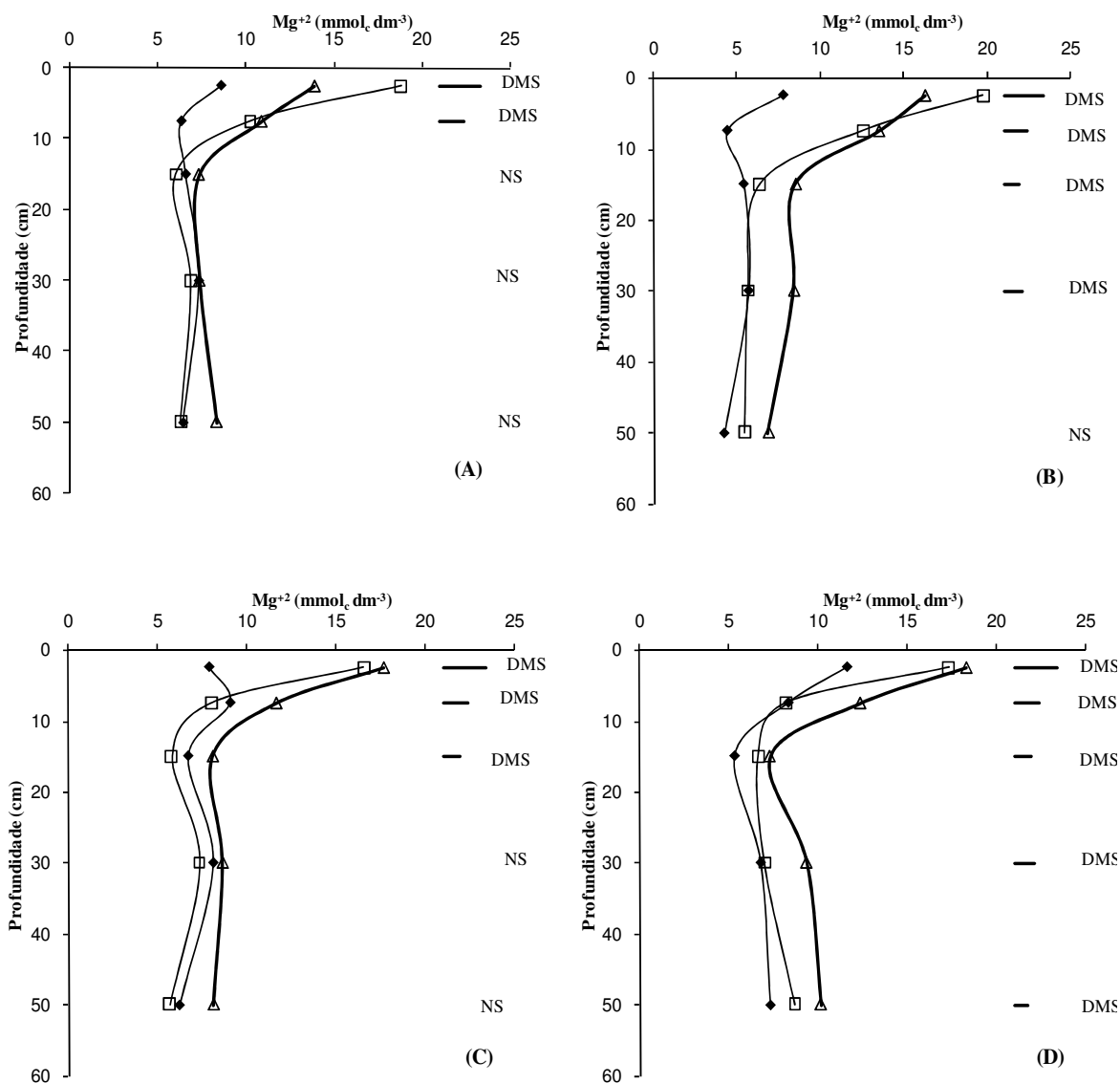


FIGURA 13. Valores de Mg^{+2} do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\blacklozenge$)), 12 meses após tratamento.

Corrêa et al. (2007) também observou elevação dos teores de Mg no perfil do solo, até a camada 0,10-0,20 m no caso do calcário e até a camada 0,20-0,40 no

caso do silicato, fato atribuído à maior solubilidade do silicato quando comparado ao calcário. É provável ainda que os pares iônicos inorgânicos com nitrato, HCO_3^- , OH^- (Rheinheimer et al., 2000), Cl^- e SO_4^{2-} (Caires et al., 1998) tenham atuação no deslocamento de cátions, proporcionando o carreamento dos cátions Ca e Mg no perfil do solo.

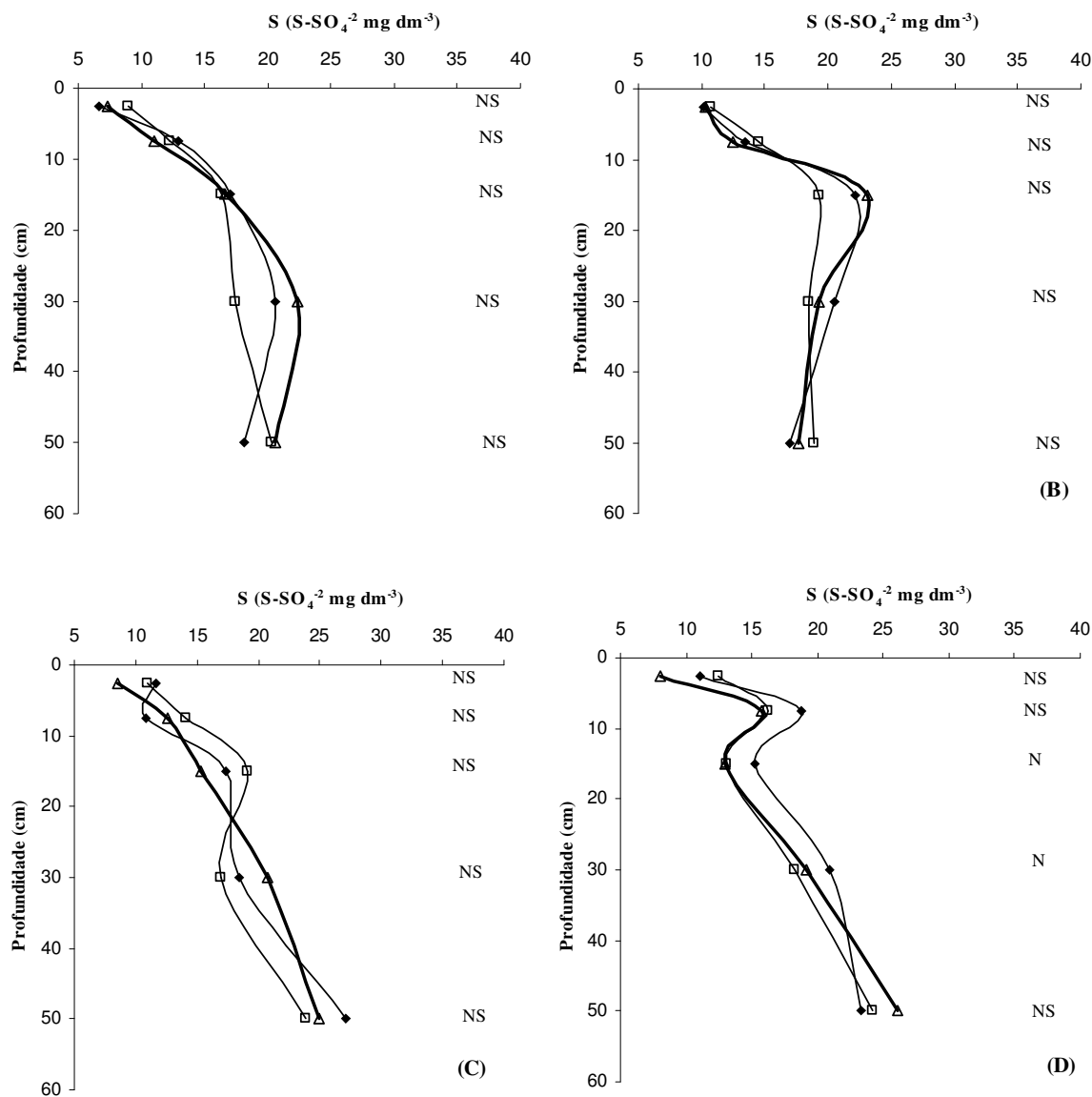


FIGURA 14. Valores de S do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), 12 meses após tratamento.

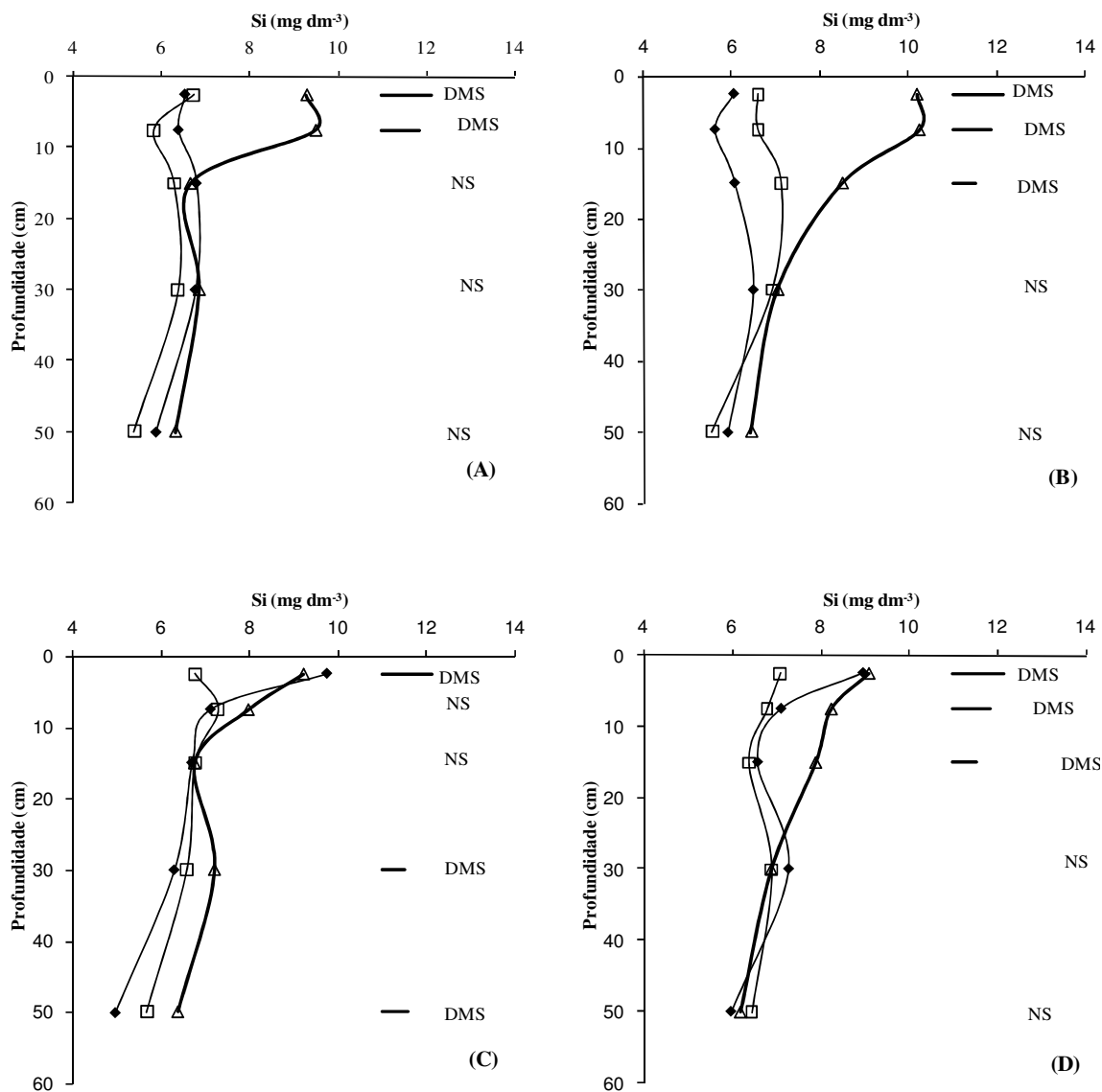


FIGURA 15. Valores de Si do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)), 12 meses após tratamento.

A calagem e a silicatagem não influenciaram de forma expressiva e significativa os teores de sulfato ($S-SO_4^{2-}$) no perfil do solo (Figura 14), concordando com Soratto & Crusciol (2008) que avaliaram o efeito dos teores de nutrientes em solos submetidos a doses de calcário 12 meses após a aplicação do mesmo. Estes autores observaram ainda a elevação dos teores de sulfato no solo quando se aprofunda no perfil do

solo. A pequena retenção do $S-SO_4^{2-}$ nas camadas superficiais do solo pode ser atribuída aos maiores valores de pH observados nessas camadas. A elevação do pH promove a predominância de cargas elétricas negativas, que favorecem a movimentação do $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo (Quaggio et al., 1993).

A aplicação de corretivos, em especial do silicato, elevou os teores de Si solúvel nas camadas superficiais, em todos os sistemas, e também nas duas camadas mais profundas, no sistema Safra-Safrinha (Figura 15). Esta elevação devido a aplicação de silicato era de se esperar devido ao teor de Si solúvel na formulação deste corretivo. Nos sistemas Safra-Safrinha (camada 0-0,05) e no sistema Safra-Pousio (camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) a aplicação de calcário resultou em elevações dos teores de Si no solo. Observa-se que estas camadas e nestes sistemas, o calcário também foi eficiente na correção do pH do solo (Figura 6). Corroborando com este resultado, Dalto (2003), utilizando calcário sobre palhada de cana-de-açúcar, observou a elevação da concentração de Si extraído em ácido acético ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$). O aumento nos teores de Si com a aplicação do carbonato de Ca pode ser atribuído à solubilização de compostos de sílica com o aumento do pH e, ou, devido o aumento do pH no solo reduzir a capacidade dos sítios de adsorção de silício no solo, aumentando a sua concentração na solução Pereira et al. (2002).

Na Figura 16, onde estão expostos os valores de saturação por bases do solo, nota-se que a aplicação dos corretivos resultou na elevação nos valores de V% nos sistemas estudados. Para todos os sistemas estudados, destacam-se os efeitos do silicato em relação ao calcário na profundidade de 0,10-0,20. A saturação por bases é uma medida direta da fertilidade de um solo e se apresentou maior em parte do perfil do solo estudado com o uso de ambos os corretivos, possivelmente em função do acréscimo ocasionado pela utilização dos mesmos nos teores de Ca e Mg (Figuras 12 e 13) e pela redução observada nos valores de H+Al (Figura 8). Resultados semelhantes foram observados por Corrêa et al. (2007), avaliando o efeito do silicato e do calcário no aplicados a 15 meses, e por Soratto e Crusciol (2008a), estudando o efeito de doses de calcário em SPD na região de Botucatu, SP 12 meses após sua aplicação. Em contrapartida, este resultado contrasta com os resultados obtidos em alguns trabalhos realizados em Latossolo Vermelho sob plantio direto, onde Miranda et al. (2005) e Pádua et al. (2006) verificaram que o efeito do calcário sobre a V% se restringe a camada de 0-0,05 m.

Mesmo com a elevação dos valores de V% proporcionados pela aplicação dos corretivos, todos eles, nas camadas inferiores a 0,05 m e nos quatro sistemas de produção, foram inferiores aos estimados pelos cálculos de recomendação de corretivos do solo. Por outro lado, como o silicato se comportou de maneira semelhante ao calcário, pode-se sugerir que o cálculo para decisão da quantidade de silicato à ser aplicado pode ser o mesmo empregado para o calcário no Estado de São Paulo.

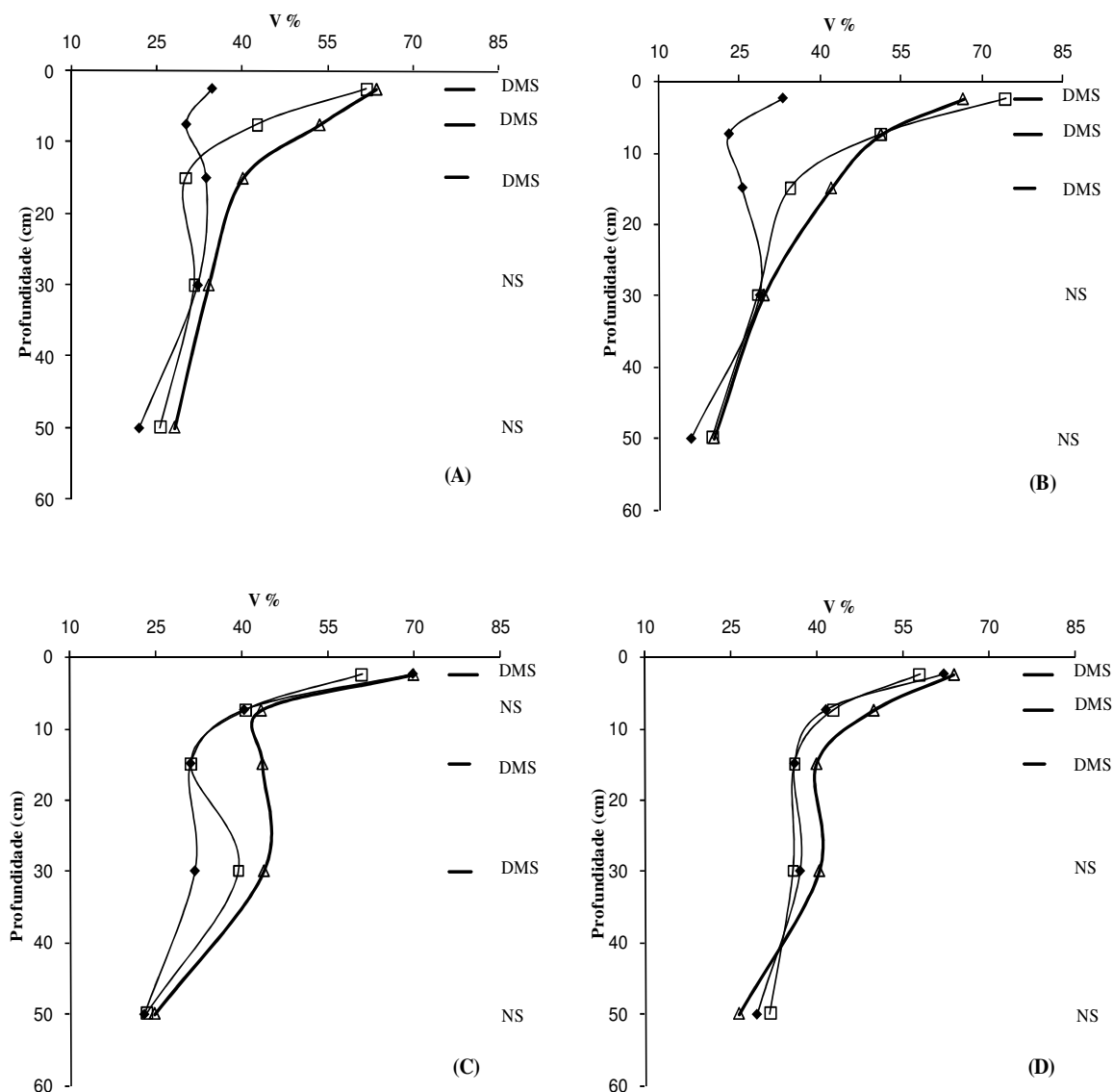


FIGURA 16. Valores de V% do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), Pousio (B), Safrinha (C), e Adubo Verde (D)) em função de aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\blacklozenge$)), 12 meses após tratamento.

5.2.3 Dezoito meses após a aplicação dos corretivos

Os valores para as características químicas do solo, 18 meses após a aplicação dos corretivos de acidez do solo estão apresentados nas figuras de 17 a 27.

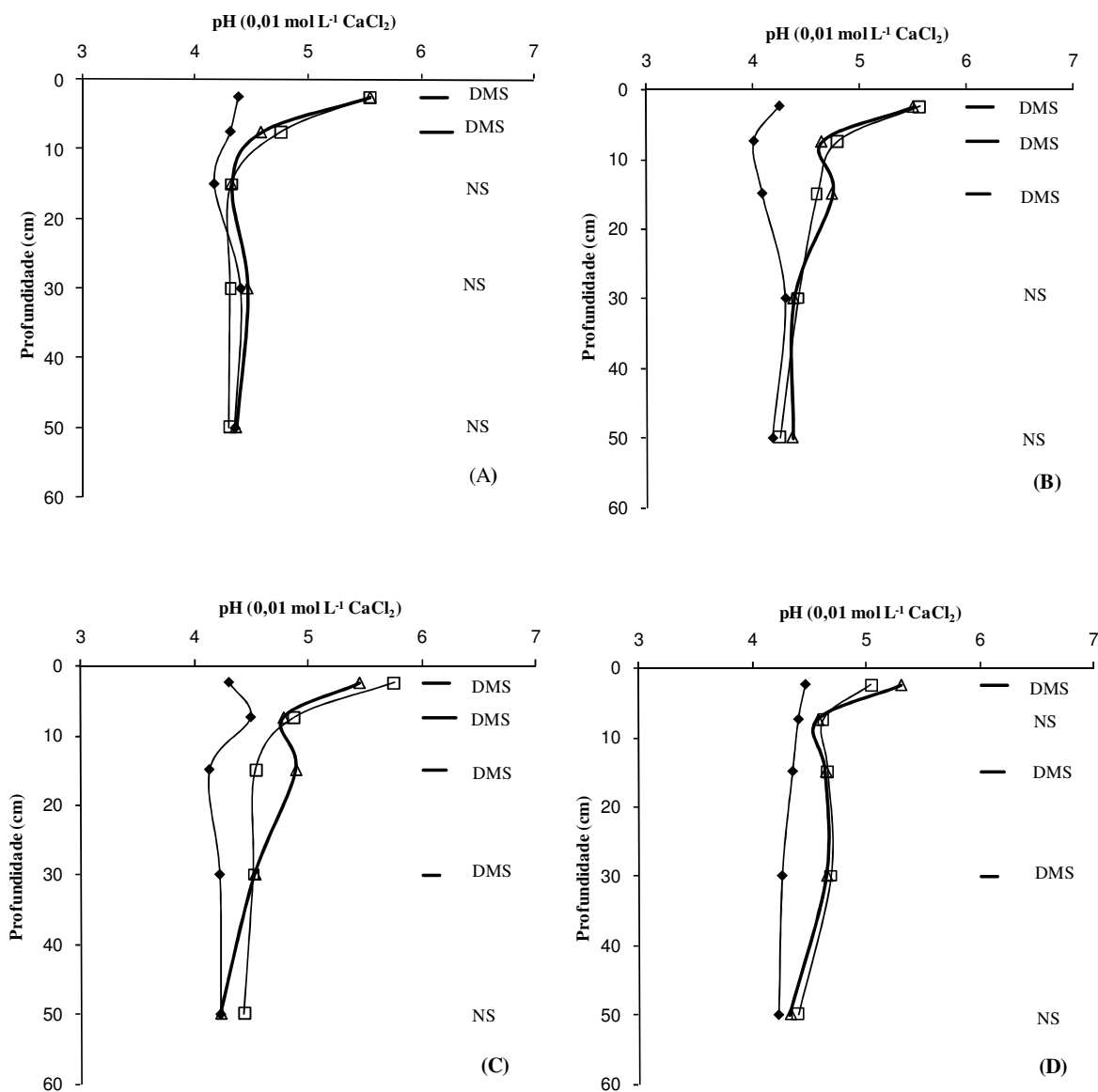


FIGURA 17 Valores de pH do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

Na Figura 17, estão expressos os valores de pH. Ambos os corretivos foram eficientes na elevação do pH do solo até a camada 0,05-0,10 m (no sistema Safra – Forrageira) e 0,10-0,20 m (nos demais sistemas), diferindo estatisticamente da testemunha. A elevação do pH com o uso dos corretivos é decorrente do aumento na concentração das hidroxilas e redução da concentração de H^+ em solução (PAVAN e OLIVEIRA, 1997).

Nos sistemas Safra-Safrinha e no sistema Safra-Adubo Verde, o efeito dos dois corretivos foi além, corrigindo a acidez do solo até a camada 0,20-0,40 m. A liberação de compostos de baixo peso molecular (cátions hidrossolúveis) da palhada do feijão e do guandu podem ter facilitado este efeito em profundidade (Franchini et al. 2001a). Estes compostos, ao encontrarem excesso de prótons H^+ em subsuperfície, se dissociam e neutralizam parte do hidrogênio desta camada, favorecendo a elevação do pH solo.

Estes resultados concordam, em partes, com os obtidos por Soratto & Crusciol (2008a) pois estes verificaram efeito da calagem sobre os valores de pH até a camada de 0,20–0,40 m aos 12 meses, porém os autores verificaram que, aos 18 meses após a aplicação do calcário, o efeito da calagem permaneceu apenas até 0,10–0,20 m de profundidade. No SPD, diversos trabalhos têm demonstrado que o efeito da calagem aplicada na superfície para a correção das camadas subsuperficiais varia com a dose e granulometria do produto; forma de aplicação; tipo de solo; condições climáticas, especialmente regime hídrico; sistema de cultivo; e tempo decorrido da aplicação (Oliveria & Pavan, 1996; Caires et al., 1999, 2000, 2003, 2005; Rheinheimer et al., 2000; Mello et al., 2003; Alleoni et al., 2005), o que torna a eficiência dessa prática controversa, particularmente na correção da acidez do subsolo.

Nota-se que, nesta amostragem, não houve grande diferença entre os corretivos quanto a correção do pH do solo em superfície ou em profundidade, diferentemente do observado nas épocas anteriores (Figura 3 e Figura 6). Isso leva a crer que, pela menor solubilidade, o calcário demorou mais tempo para reagir por completo, apresentando o mesmo efeito do silicato apenas 18 meses após sua aplicação. Por outro lado, esta constatação comprova a hipótese inicial do trabalho onde se supunha que o silicato, devido a sua maior solubilidade, conseguiria apresentar seus benefícios em profundidade em um menor intervalo de tempo que o calcário.

Quanto aos teores de M.O. do solo, em função da aplicação de corretivos nos diferentes sistemas de produção (Figura 18), não foram observadas grandes diferenças. Só foi notada uma elevação nos teores de M.O. na camada mais profunda do sistema Safra-Adubo Verde, quando este recebeu aplicação de calcário. Isso pode estar relacionado ao maior desenvolvimento radicular das culturas devido às melhores condições de acidez do solo.

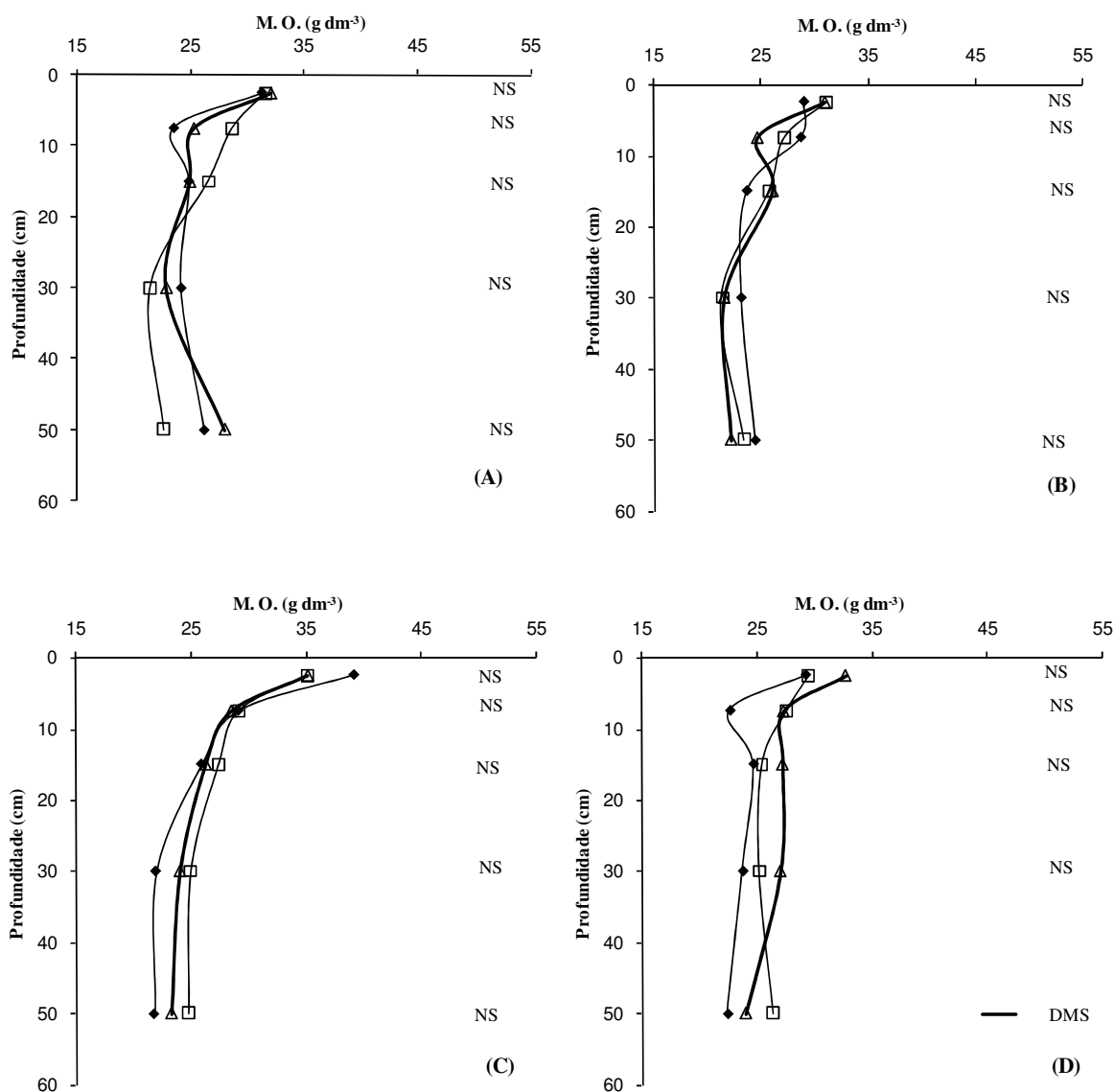


FIGURA 18 Valores de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

Poder-se-ia esperar uma redução nos valores de M.O. do solo onde foram aplicados os corretivos, pois a elevação do pH favorece a mineralização da mesma, reduzindo seu valor no perfil do solo (Rosolem et al., 2003), fato não ocorrido no presente trabalho. Porém Alleoni et al. (2005), trabalhando com doses e modos de aplicação de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, observaram que não há efeito da aplicação de calcário após 18 meses sobre os teores de matéria orgânica.

Não foram observadas diferenças entre os sistemas de produção, diferentemente do observado na época anterior (Figura 7). Este fato pode estar associado à mineralização da M.O. que havia sido acumulada no sistema Safra-Forrageira. Poder-se-ia ainda esperar um efeito indireto dos corretivos na M.O. do solo, pois as plantas cultivadas sob efeito destes produtos apresentaram maior produção de matéria seca, ou mesmo dos sistemas de produção, pela grande variação na produção de matéria seca entre as sucessões estudadas. Possivelmente, o período para decomposição dos restos vegetais das culturas anteriores pode não ter sido suficiente para se observar tal efeito na quantidade de M.O. deste solo.

Na Figura 19 estão os valores de H+Al, onde pode-se notar que os resultados foram semelhantes aos observados para pH (Figura 17), ou seja, ambos os corretivos foram eficientes na neutralização da acidez potencial do solo. Isso ocorre porque, a aplicação dos corretivos gera o aumento na concentração das hidroxilas no solo, que reagem com o excesso de H^+ em solução promovendo a precipitação do alumínio na forma de $Al(OH)_3$, atóxica às plantas (PAVAN e OLIVEIRA, 1997). Destaca-se que, nesta amostragem, o efeito dos corretivos na redução da acidez potencial foi menor nas maiores profundidades, quando comparado à amostragem anterior (12 meses). Isso nos leva a crer que a dissociação dos corretivos pode estar chegando ao fim, evidenciando a total solubilização dos mesmos. Ciotto et al. (2002) também verificaram elevação da acidez potencial do solo sob plantio direto, especialmente na camada superficial, e atribuíram tal fato principalmente elevação do pH do solo pela nitrificação do amônio, proveniente dos fertilizantes de reação ácida que ocorre do solo.

Os resultados se assemelham aos obtidos por Soratto & Crusciol (2008) que verificaram que a aplicação superficial do calcário promoveu diminuição da acidez potencial do solo (H+Al) na camada 0–0,05 m, aos três meses, até a camada 0,05–

0,10 e 0,10–0,20 m, aos seis e 12 meses, respectivamente, e apenas até a camada de 0,05–0,10 m na amostragem realizada aos 18 meses após a aplicação, de forma proporcionalmente inversa à dose aplicada deste corretivo.

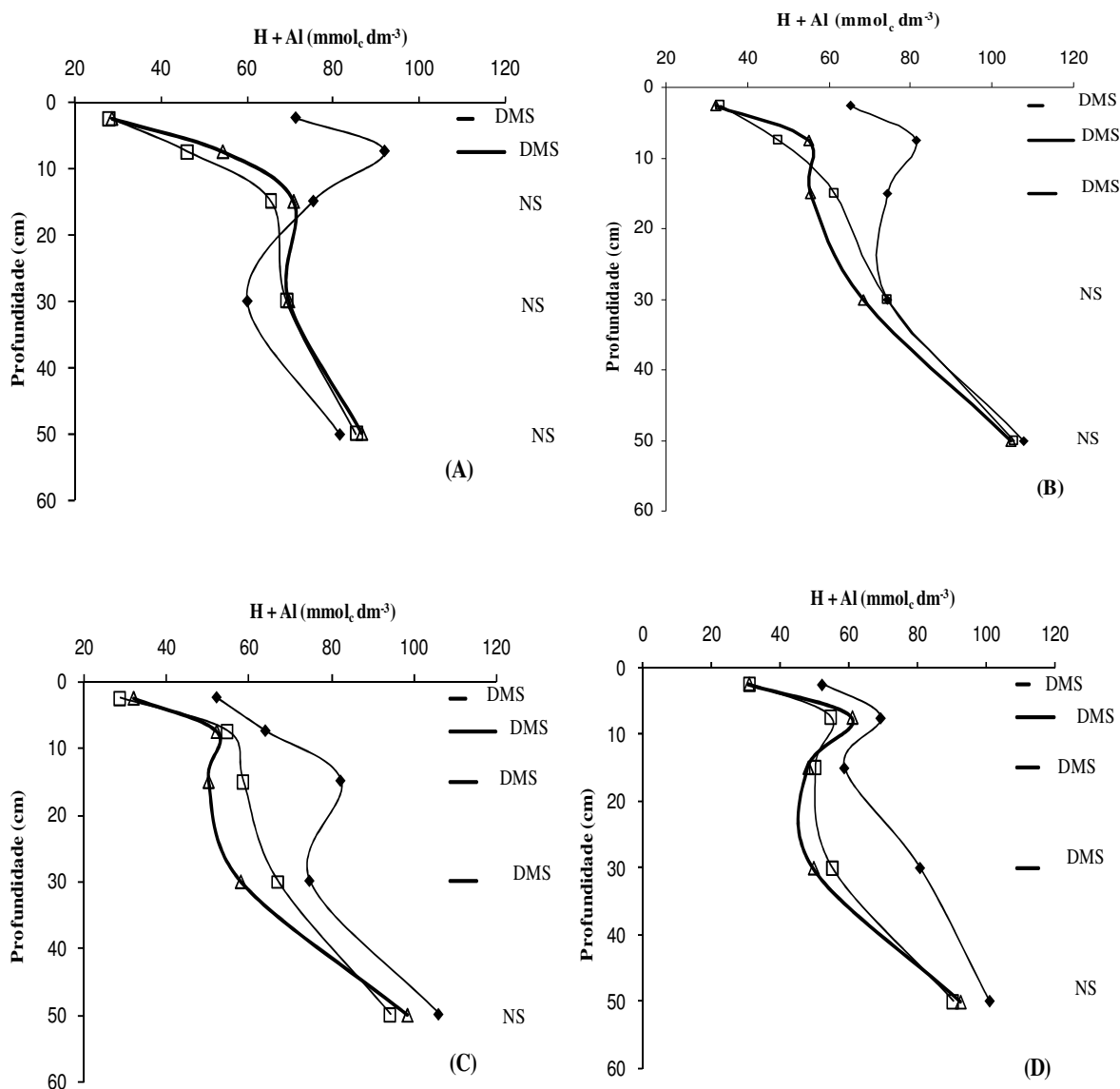


FIGURA 19 Valores de hidrogênio e alumínio do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

A Figura 20 apresenta os valores de alumínio trocável (Al^{+3}). Os corretivos apresentaram efeito até as camadas mais profundas estudadas (0,40-0,60 m).

Quando houve diferença entre os corretivos, esta esteve sempre associada a menos disponibilidade da forma de Al tóxico quando se aplicou silicato em comparação ao calcário (camada 0,10-0,20 m no sistema Safra – Forrageira; camada 0,40-0,60 m no sistema Safra – Pousio; e camadas 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m no sistema Safra – Safrinha).

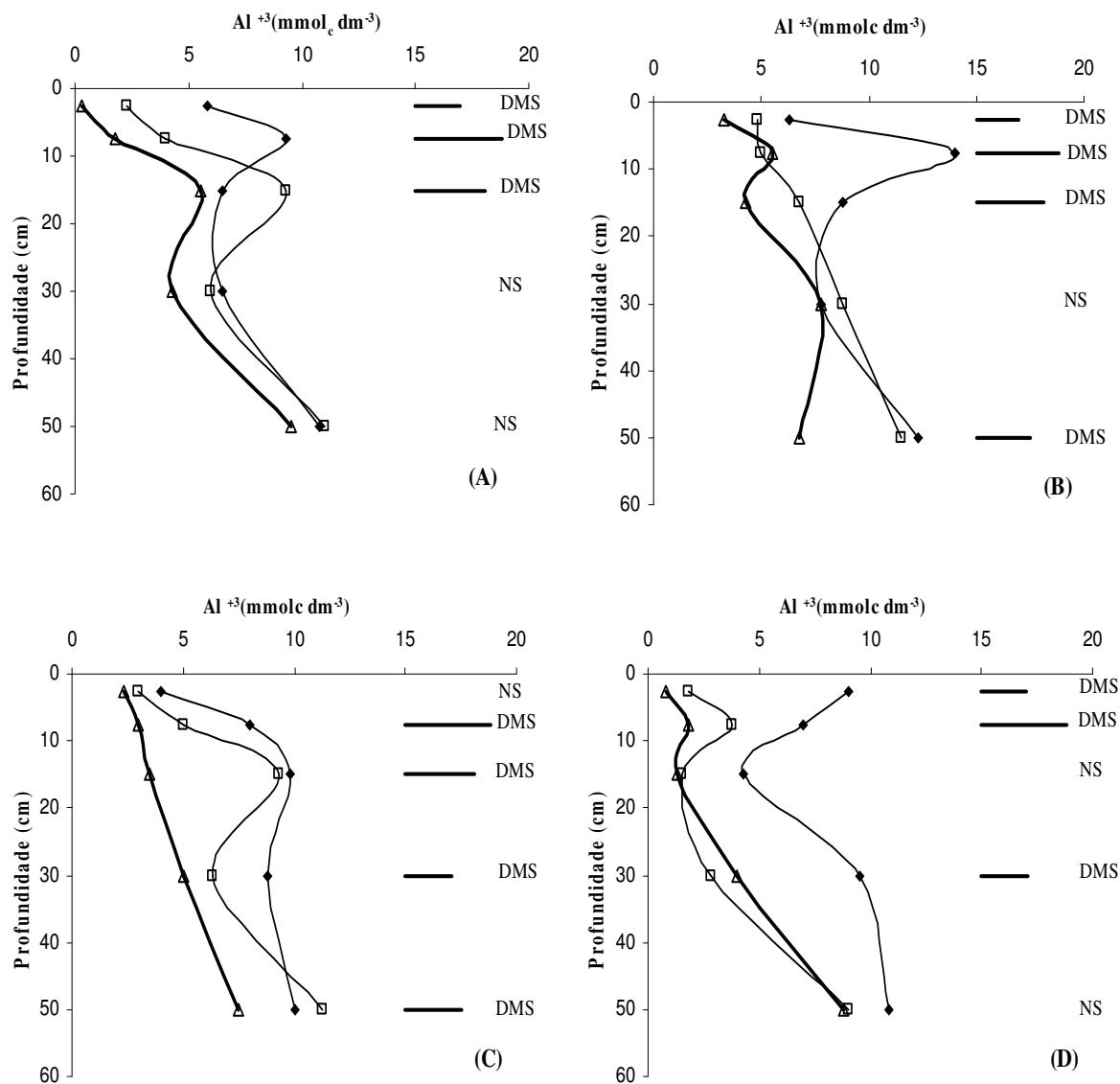


FIGURA 20 Valores de alumínio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

A redução dos teores de alumínio trocável se devem ao fato de que o aumento do pH do solo, ocorre a precipitação do Al^{3+} na forma de hidróxido de Al ($\text{Al}(\text{OH})_3$), de baixa solubilidade e, portanto, não tóxica para as plantas, já que não se mantém ativa em solução (Kondörfer & Nolla, 2003). Os mecanismos de redução do Al tóxico no solo pela adição de compostos ricos em Si, conforme observado no presente trabalho, se dão pelo incremento do pH do solo (Carvalho et al., 2000), adsorção em hidróxidos de Al (HAS) com conseqüente redução de sua mobilidade, formação de substâncias pouco solúveis com íons de Al, adsorção do Al móvel em superfícies silicatadas e formação de compostos solúveis de Si que podem incrementar a tolerância das plantas ao Al tóxico (Matichenkov & Bocharnikova, 2001). Todos esses mecanismos podem atuar simultaneamente, com alguns prevalecendo sobre os outros, dependendo das condições do solo.

Entre as sucessões de culturas, o sistema Safra-Pousio, quando não foi aplicado nenhum tipo de corretivo do solo, foi o que apresentou os maiores valores de Al trocável na camada 0,05-0,10 m. Isso confirma a proposta de Oliveira & Pavan (1996) que atribuíram à presença de resíduos vegetais na superfície do solo sob plantio direto, causa redução da acidez subsuperficial. Segundo Bayer & Amaral (2003), o efeito dos resíduos vegetais na diminuição da acidez do solo é temporária, pois os ácidos orgânicos podem ser rapidamente transformados pelos microrganismos no solo e adsorvidos nos constituintes do solo, especialmente nos minerais de argila. Devido a isso, se faz necessário o cobertura do solo com resíduos vegetais durante todo o ano agrícola, á fim de se conseguir os benefícios máximos destes sistemas de produção.

Conforme observado na segunda época de amostragem (Figura 10), os valores de fósforo, 18 meses após a aplicação dos corretivos nos quatro sistemas de sucessão de culturas avaliados, aumentaram com a aplicação dos corretivos da acidez do solo (Figura 21). Deve-se ressaltar ainda que nas camadas 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m (sistema Safra-Adubo Verde) e na camada 0,10-0,20 m (sistema Safra-Pousio) houve maior disponibilidade de P pela aplicação de silicato em relação à aplicação de calcário. A elevação do pH do solo pela aplicação dos corretivos, aumentando a concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promove a precipitação de Fe e Al, reduzindo a precipitação de P-Fe e P-Al de baixa solubilidade; há, também, geração de cargas negativas

pela desprotonação de hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica, ocorrendo repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente (Mcbride, 1994).

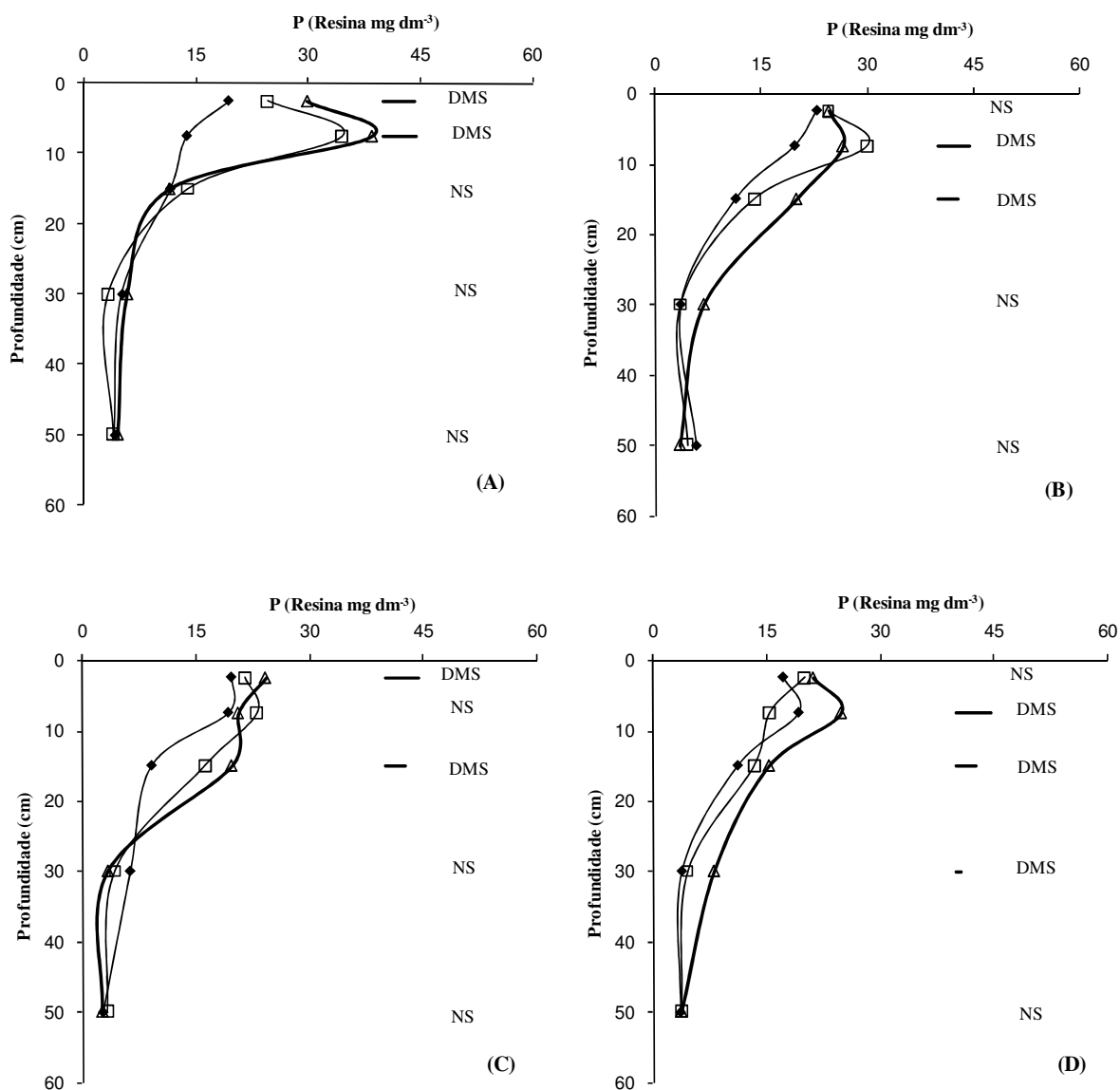


FIGURA 21 Valores de fósforo no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

Já no caso específico do silicato, após a ação alcalinizante do solo pelo CaSiO_3 , há a formação do H_4SiO_4 , que se transforma em H_3SiO_4^- em pH próximo de 7, e pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, competindo com o H_3PO_4^- pelos

mesmos sítios de adsorção (Hingston et al., 1972). Essa competição, conforme Carvalho et al. (2000), ocorre quando se aplica o Si antes do calcário e do P das fertilizações. Entretanto, em alguns casos como certas profundidades observadas no presente trabalho, o Si pode não disponibilizar o P, não reduzindo a capacidade do solo em adsorver o P em condições de deficiência, sugerindo um efeito insignificante do Si sobre a disponibilização do P no solo.

Nota-se que o sistema Safra-Forageira, quando recebeu corretivos da acidez do solo, proporcionou maior elevação dos teores de P, na camada 0-0,10 m, que os demais sistemas. Este fato já havia sido registrado na segunda época de amostragem (Figura 10). Isso pode estar ligado a fato dos exsudatos das raízes das plantas do gênero *Brachiaria* solubilizar quantidades significativas de P no solo. O maior desenvolvimento radicular promovido pela aplicação dos corretivos, aliada ao efeito do mesmo na disponibilidade de P do solo, afetou o teor deste nutriente nestas primeiras camadas.

Na Figura 22 estão os valores de potássio nos solos estudados. Foram observados efeitos isolados nos teores de K pela aplicação de corretivos nos sistemas de produção estudados. Os resultados colaboram com os obtidos por Quaggio et al. (1991), que estudando a relação entre calagem e molibdênio na extração de nitrogênio pelo milho, verificaram que a aplicação do calcário proporciona apenas pequenas variações nos teores de K do solo.

Entre os sistemas avaliados, nota-se que a sucessão Safra – Pousio foi apresentou valores inferiores de K na camada superficial (0-0,05 m). Esperava-se efeito das sucessões de cultura na ciclagem de K das camadas mais profundas para a superfície do solo. Este efeito foi ainda mais claro na sucessão Safra – Forrageira, onde os valores de K no solo foram até $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ superior em relação ao Pousio, demonstrando a eficiência das plantas do gênero *Brachiaria* em reciclar nutrientes como o K das camadas mais profundas e torná-los disponíveis novamente na camada superficial através da decomposição de sua parte aérea.

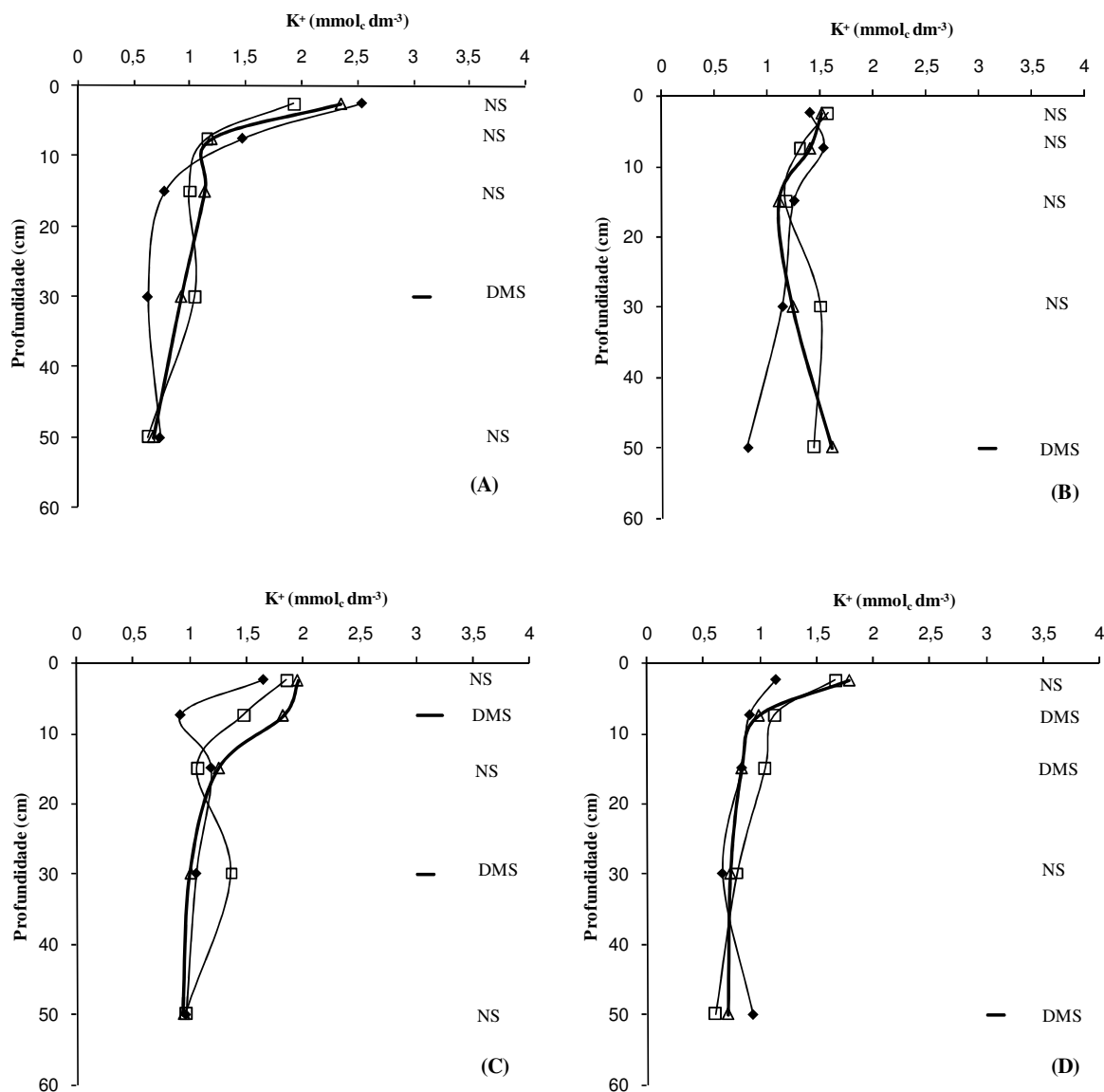


FIGURA 22 Valores de potássio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

Quanto aos valores de Ca (Figura 23), observa-se que nos sistemas Safrá-Forrageira (camada de 0-0,05 m) e Safrá – Safrinha (camada de 0,20-0,40 m), o calcário elevou em maior grau seus valores em relação ao silicato. Porém, nas demais camadas e sistemas o silicato foi tão, ou mais, eficiente que o carbonato no fornecimento de

Ca ao solo. Isso ocorreu, provavelmente, porque as fontes de Si apresentam uma reatividade no solo 6,78 vezes superior à do calcário (Alcarde & Rodella, 2003).

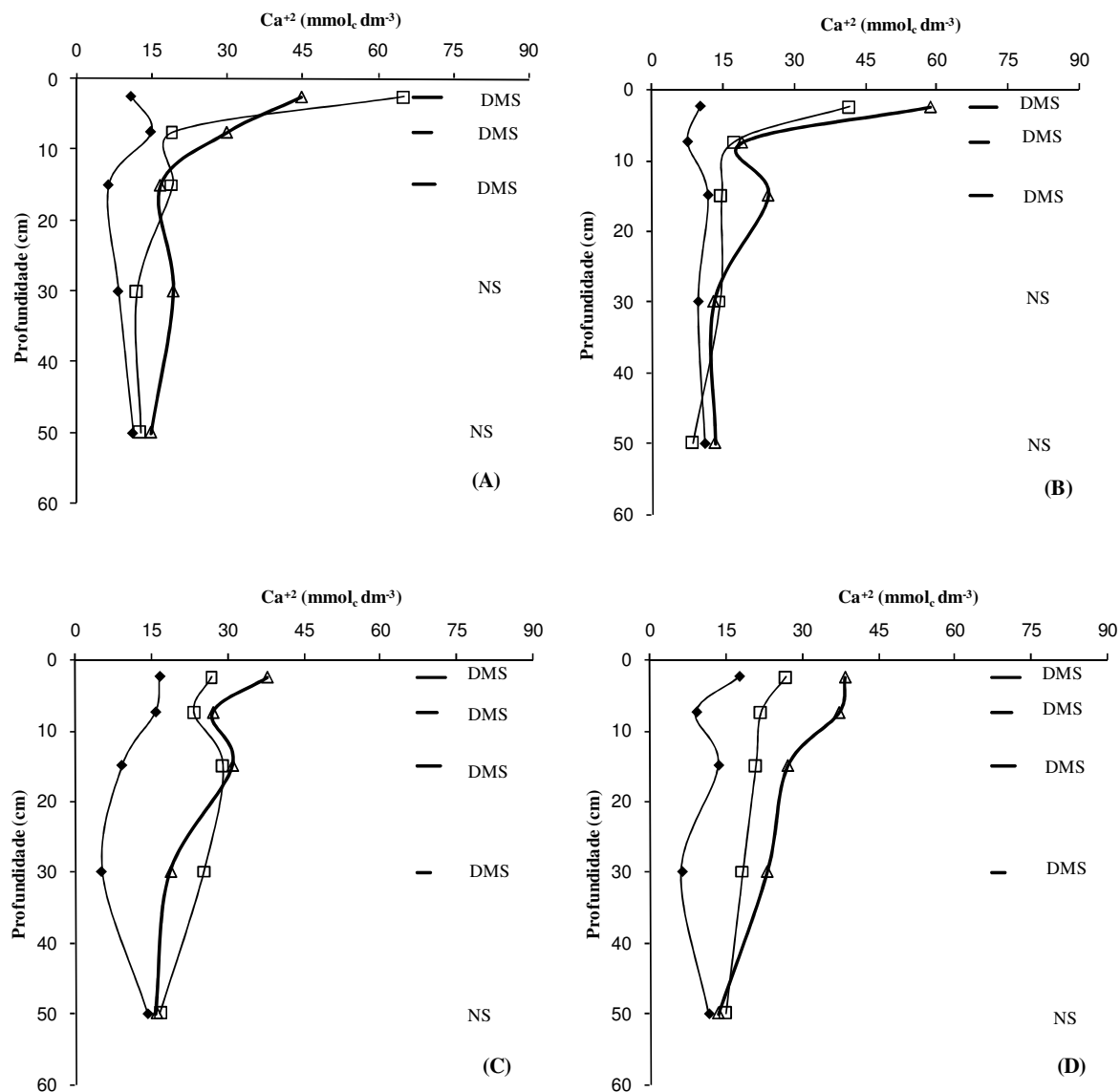


FIGURA 23 Valores de cálcio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\diamond$)) dezoito meses após tratamento.

A elevação dos teores de Ca no perfil do solo foi notada até a camada 0,20-0,40 m, evidenciando o deslocamento do Ca no perfil do solo no SPD. Aos 12 meses após a aplicação dos corretivos, os efeitos foram notados apenas até a camada 0,10-

0,20 m (Figura 12) evidenciando o caminhamento lento, porém constante deste nutriente no perfil do solo. Pöttker & Ben (1998) e Caires et al. (2000) também verificaram elevação dos teores de Ca trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo, com a aplicação de calcário em superfície e posterior diminuição nos teores. No entanto, Soratto & Crusciol (2008), aos 18 meses após a aplicação de calcário, verificaram que apesar de pequeno, foi possível observar efeito positivo da calagem nos teores de Ca até a profundidade de 0,60 m.

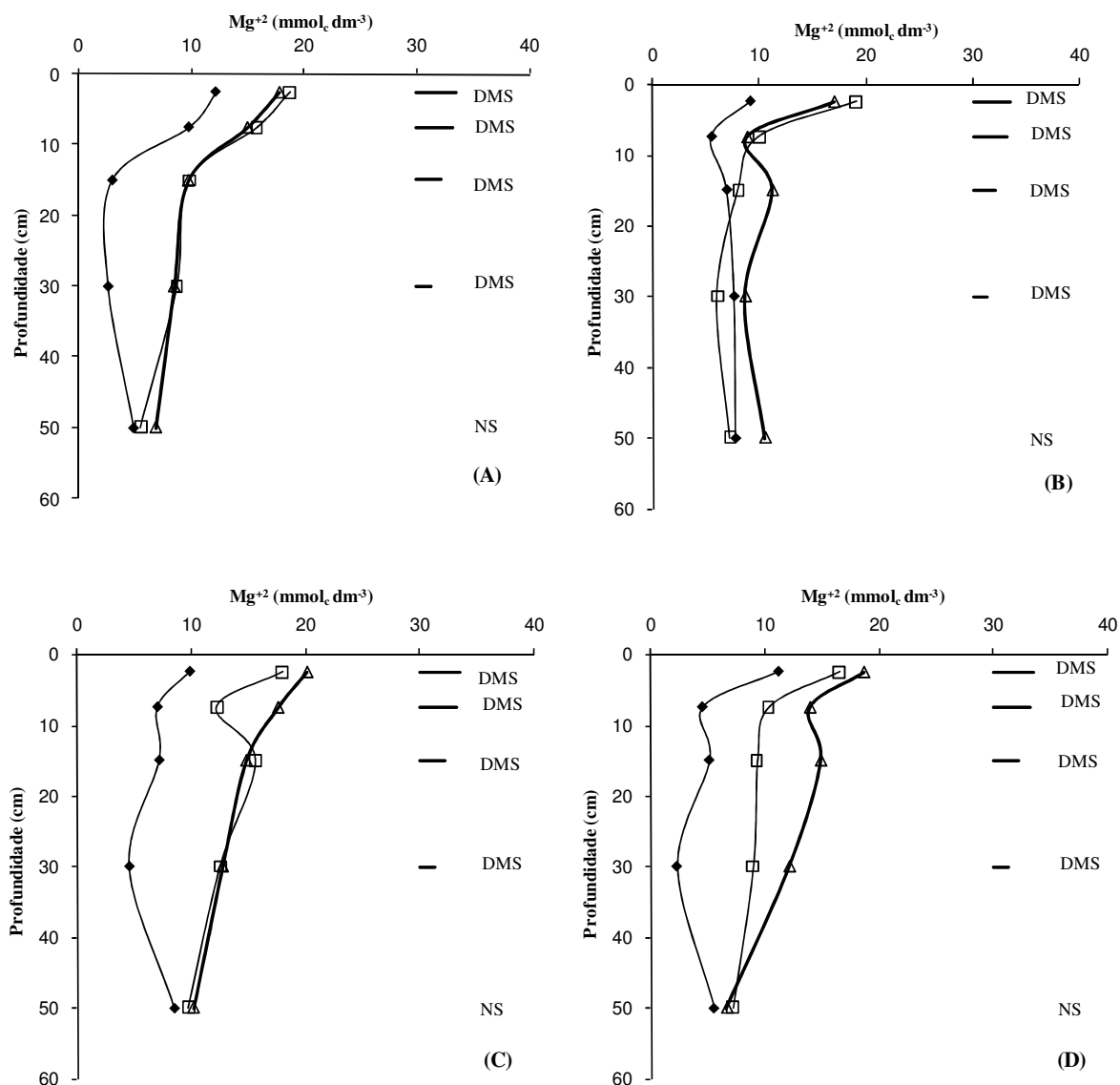


FIGURA 24 Valores de magnésio no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário ($\square$), silicato (Δ) e testemunha ($\diamond$)) dezoito meses após tratamento.

Na Figura 24, observa-se o efeito dos tratamentos empregados nos teores de magnésio no perfil do solo. A aplicação superficial de corretivos elevou os teores de Mg até a camada 0,20-0,40 m. Os valores apresentados pela ação de ambos os corretivos foram muito semelhantes, diferindo notadamente apenas no sistema Safra-Adubo Verde, onde o silicato elevou em maior proporção os valores de Mg nas camadas 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. O aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o íon HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, movimenta-se para o subsolo para reagir com a acidez (Caires et al., 2003) explicando o aumento dos teores de Mg até 0,40 m. Esses resultados concordam com os apresentados por Soratto (2005), que verificaram após 18 meses da aplicação dos corretivos que os teores de Mg trocável se elevaram em todo perfil estudado (0,60 m). O mesmo efeito foi observado por Corrêa et al. (2007) avaliando o efeito do silicato e do calcário (15 e 27 meses após a aplicação superficial) em um Latossolo Vermelho da cidade de Botucatu, SP, porém a profundidade de amostragem foi apenas até 0,40 m.

Os valores de sulfato do solo estão contidos na tabela 24. Nota-se que existe uma tendência de os valores SO_4^{2-} serem superiores para o tratamento testemunha (sem aplicação de corretivos). Porém, em profundidade, os valores deste nutriente se apresentam superiores quando há aplicação de calcário e silicato. Os maiores teores de sulfato observados no perfil do solo após a aplicação dos corretivos podem significar maior disponibilidade de S para as plantas, mas em condições que favoreçam maior movimentação de S no perfil, a maior disponibilidade de S (SO_4^{2-}) pode também resultar em maior perda de S do sistema solo-planta, já que a calagem, pelo estímulo positivo que exerce sobre a densidade de cargas negativas nas argilas e óxidos de ferro e alumínio, diminui a adsorção de sulfato na camada de aração e aumenta a migração desse ânion para o subsolo (Alvarez, 1988). No sistema Safra – Adubo Verde acredita-se que a lixiviação do sulfato tenha ocorrido até camadas mais profundas do que as estudadas, por isso os maiores teores na ausência da aplicação de corretivos.

Este fato pode ainda comprovar a eficiência dos corretivos em deslocar quantidades significativos de Ca e Mg no perfil do solo, devido a formação de pares iônicos entre o sulfato e estes elementos.

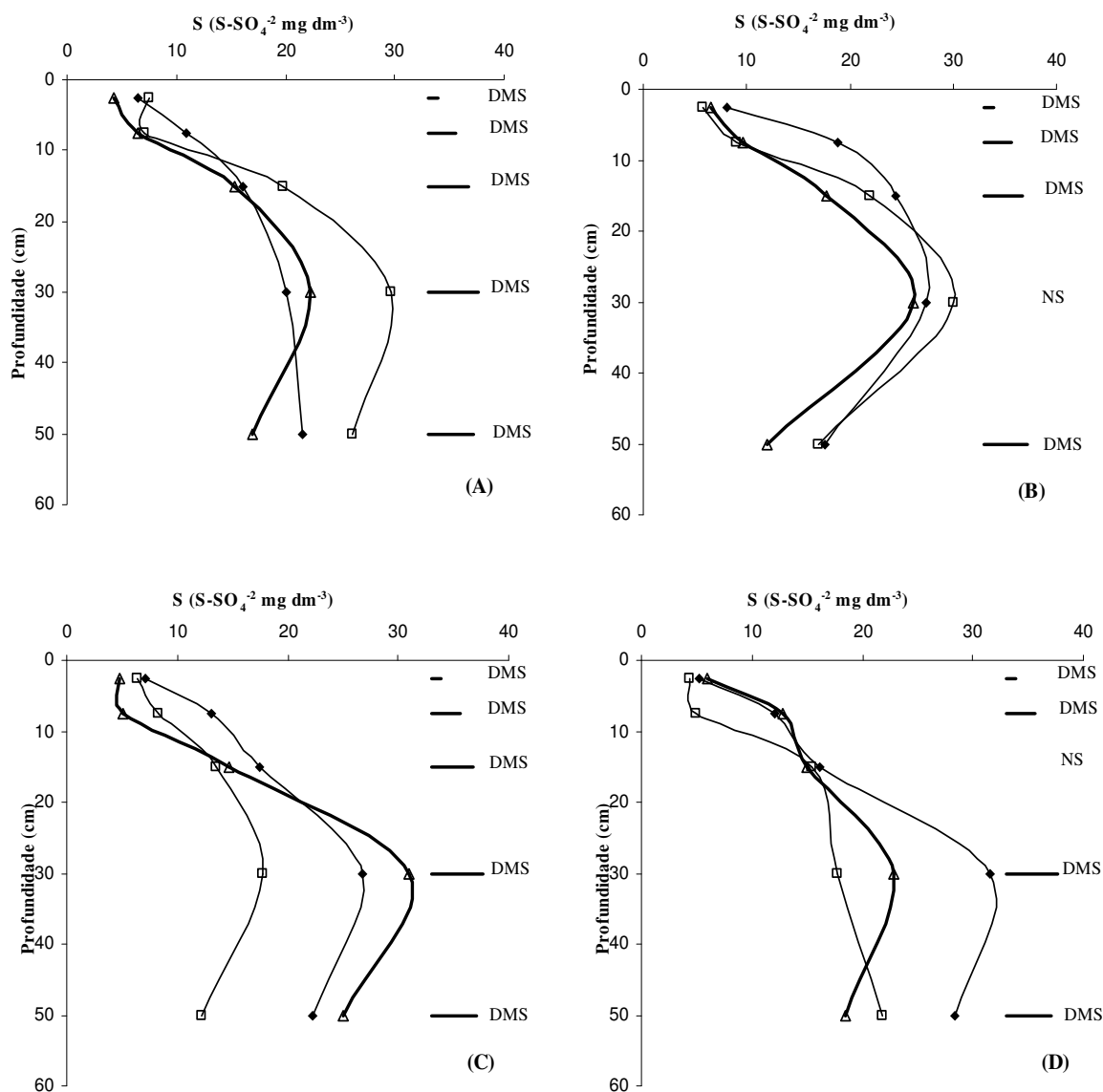


FIGURA 25 Valores de enxofre no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

Na Figura 26 encontram-se os dados referentes aos teores de silício após a aplicação de calcário e silicato de Ca e Mg em quatro sucessões de culturas distintas. A aplicação de silicato elevou os teores de Si solúvel nas três primeiras camadas estudadas (exceto no sistema Safra-Adubo Verde, onde o efeito foi até a camada 0,05-0,10 m).

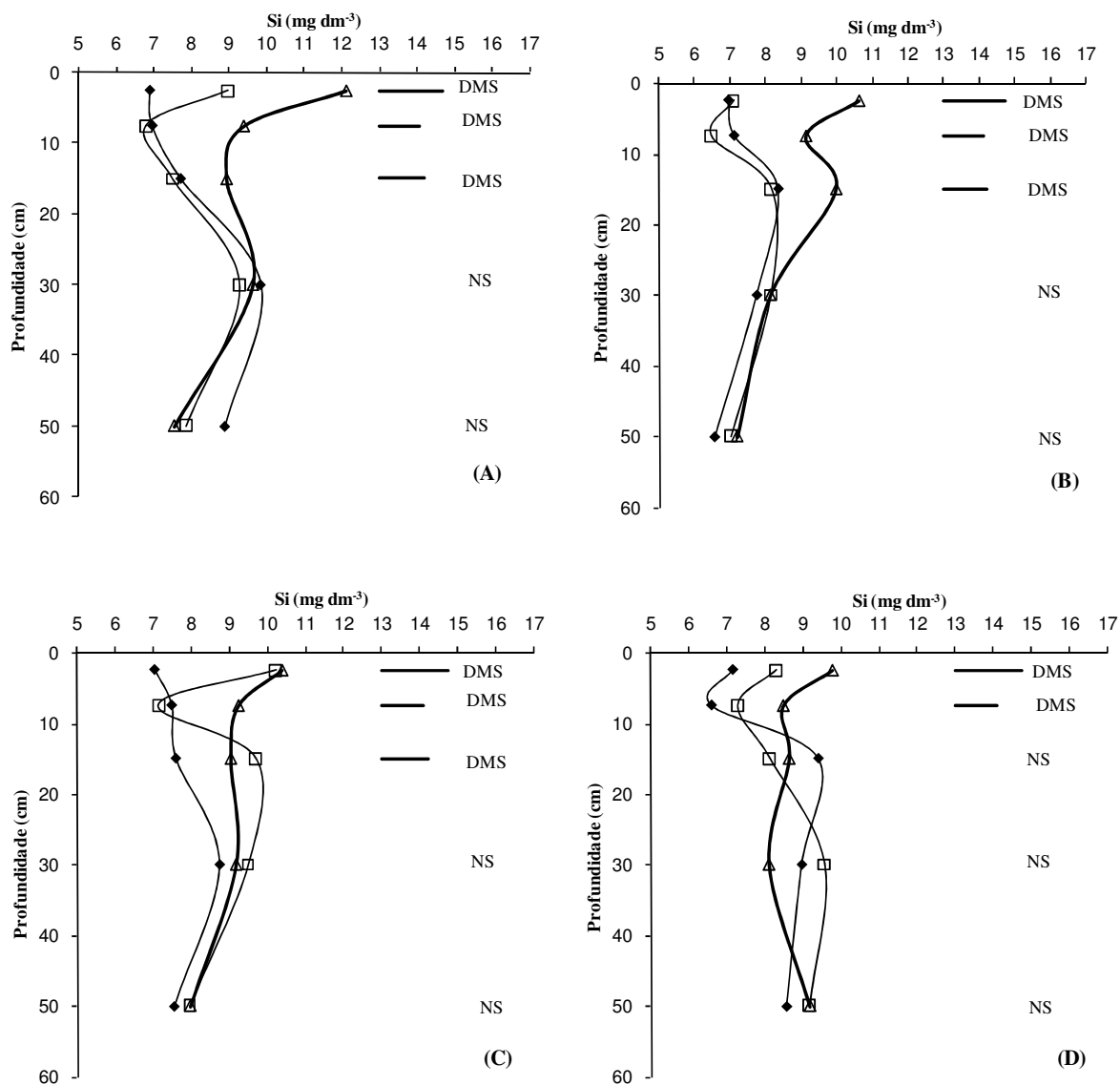


FIGURA 26 Valores de silício no solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (◆)) dezoito meses após tratamento.

Isso era de se esperar devido à alta concentração de silício solúvel na composição deste corretivo. Nota-se ainda que nas camadas 0-0,05 (sistema Safra-Forrageira) e 0,10-0,20 (sistema Safra-Safrinha) o calcário, mesmo não apresentando Si em sua formulação, elevou os teores de Si no solo. Resultado semelhante foi observado por Dalto (2003), utilizando calcário sobre palhada de cana-de-açúcar, onde observou a elevação

da concentração de Si extraído em ácido acético ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) quando submeteu o solo a doses de calcário. O aumento nos teores de Si com a aplicação do carbonato de Ca pode ser atribuído à solubilização de compostos de sílica com o aumento do pH e, ou, devido o aumento do pH no solo reduzir a capacidade dos sítios de adsorção de silício no solo, aumentando a sua concentração na solução Pereira et al. (2002).

Quanto à saturação por bases (Figura 27), o comportamento foi semelhante ao observado para os teores de Ca e Mg trocáveis. Os maiores efeitos da calagem e da silicatagem, nos valores de saturação por bases até a profundidade de 0,40 m, aos 18 meses após a aplicação, foram decorrentes da movimentação de Ca e Mg no perfil do solo. Esses resultados concordam com os obtidos por Soratto e Crusciol (2008) e Corrêa et al. (2007), porém contrastam com os obtidos por Miranda et al. (2005) onde só verificaram efeito do calcário aplicado em superfície na movimentação das bases trocáveis na camada de 0-0,05 m.

Para ocorrer a variação de pH, de saturação por bases e a mobilidade de cátions básicos no perfil do solo é fundamental a ausência de cátions ácidos nas camadas mais superficiais, uma vez que a prioridade das ligações será com esses cátions ácidos. Vale lembrar que a redução desses cátions ácidos ocorre quando o pH em água atinge valores de 5,2 e 5,5 (Rheinheimer et al., 2000). O deslocamento de cátions básicos (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) é ainda dificultado com a adsorção pelas cargas negativas variáveis geradas com a elevação do pH (Caires et al., 2004). Portanto, a mobilidade dos cátions básicos no perfil do solo pode ter sido favorecida pela formação de pares iônicos. A formação de pares iônicos entre os cátions do solo e os compostos inorgânicos pode ocorrer com os próprios produtos da dissolução do corretivo ou de ânions liberados pela exudação radicular na rizosfera como OH^- e HCO_3^- , além de outros ânions como nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e cloreto (Cl^-), provenientes da mineralização de adubos ou da decomposição de resíduos vegetais do solo pelos microrganismos, na camada superficial (Rosolem et al., 2003). Os pares iônicos orgânicos são formados por cátions do solo com compostos hidrossolúveis de baixo peso molecular, os quais também têm origem na decomposição de resíduos vegetais e na exudação radicular, através de radicais COOH (Franchini et al., 2001).

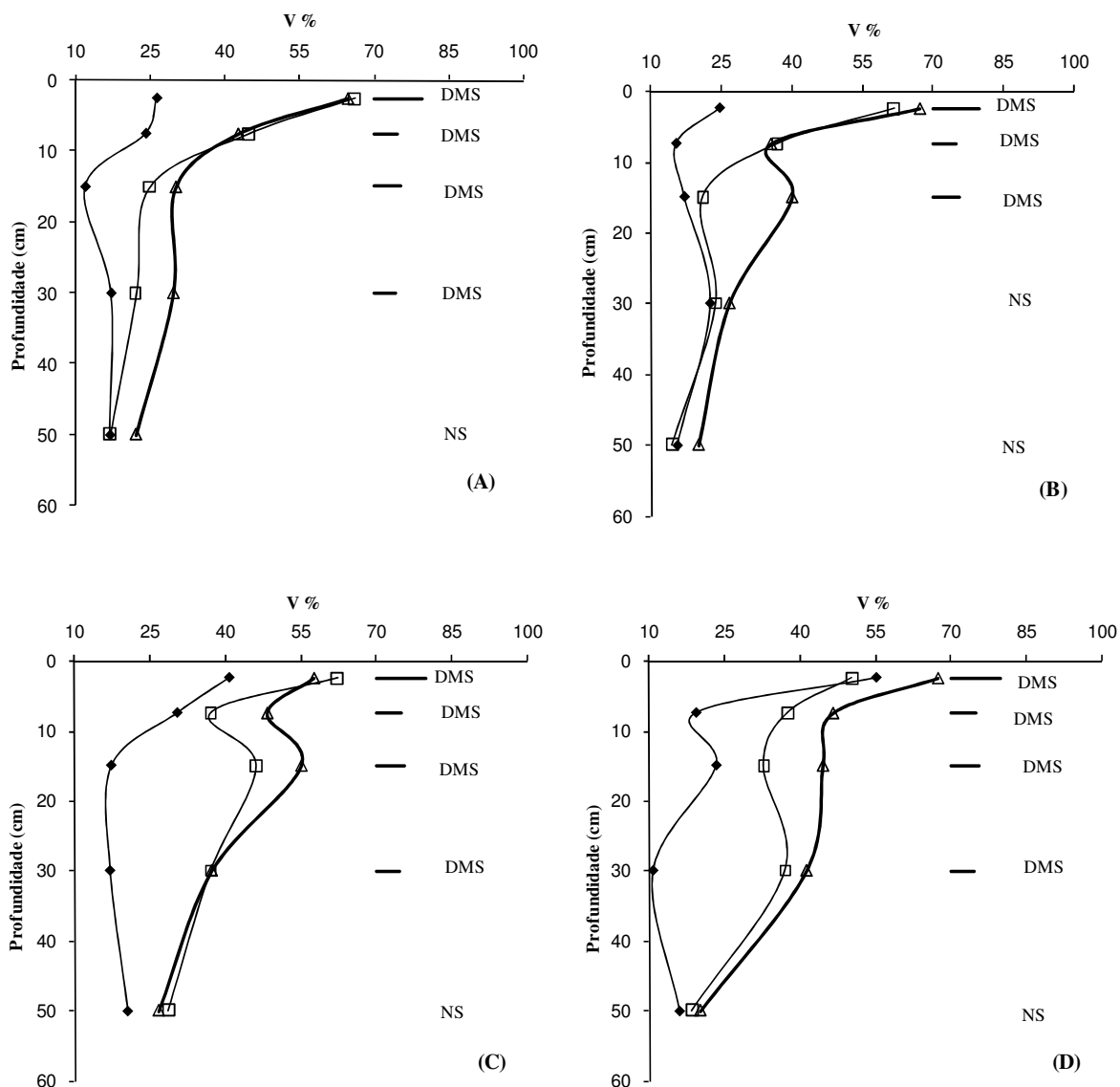


FIGURA 27 Valores da V% do solo em diferentes sistemas de produção (Forrageira (A), pousio (B), safrinha (C) e adubo verde (D)) em função da aplicação ou não de corretivos (calcário (□), silicato (Δ) e testemunha (♦)) dezoito meses após tratamento.

Constata-se ainda que os valores de saturação por bases nas camadas inferiores a 0,05 m, nos quatro sistemas de produção, foi inferior aos estimados pelos cálculos de recomendação de corretivos do solo, evidenciando que a recomendação de calagem, visando corrigir o pH do solo na camada de 0,20 m, precisa ser melhor estudada. Pode-se observar ainda que, pela eficiência do silicato em melhorar as propriedades

químicas do solo de forma semelhante ao calcário, a recomendação da dose de silicato a ser aplicada pode ser semelhante à utilizada para calcário.

5.3 Produção de matéria seca, nutrição, componentes da produção e produtividade de grãos

5.3.1 Safra 2007/08

No primeiro ano agrícola, conforme detalhado no item material e métodos, foi cultivada na área a cultura da soja em área total. Após a colheita da mesma, foi realizada a semeadura das culturas da *Brachiaria ruziziensis*, aveia branca e milheto, que representaram os sistemas Safra – Forrageira, Safra – Safrinha e Safra Adubo Verde, enquanto as outras subparcelas permaneceram em pousio, caracterizando o sistema de produção intitulado Safra – Pousio.

Abaixo estão os resultados obtidos pelas culturas sob efeito da aplicação superficial de corretivos do solo (calcário e silicato).

5.3.1.1 Soja

Na Tabela 8 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato, em relação ao teor de macronutrientes pela cultura da soja. Os teores de nutrientes pela parte aérea da planta estão na seguinte ordem: $N > K > Ca > P > Mg > S$, o que está de acordo com os resultados de BATAGLIA e MASCARENHAS (1977). Os teores de nutrientes no tecido foliar mantiveram-se em níveis considerados suficientes para a soja (Malavolta et al., 1997), independentemente da aplicação dos corretivos.

Não foram observadas alterações significativas na absorção de N pela soja, com a aplicação dos corretivos em superfície. Essa constatação em soja já foi relatada tanto no sistema de cultivo convencional (RAIJ et al., 1977), como no plantio direto (CAIRES et al., 1998). Isso se deve, possivelmente, ao curto período de reação dos corretivos no solo, não sendo suficiente para a alteração dos teores de M.O. do solo (Figura 3) bem como para alterar a eficiência da fixação simbiótica. Sabe-se que a nutrição por N, parte é fornecida pelo solo (25 a 35%) e parte pela fixação simbiótica do N_2 atmosférico (65

a 85%) (BORKERT et al., 1994), justificando a ausência de efeito dos tratamentos neste elemento.

TABELA 8. Teores de macronutrientes e de silício na folha diagnose da cultura da soja em função da aplicação corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	-----g kg ⁻¹ -----						
Testemunha	43,6	3,6	16,8	7,8b	3,7b	2,9	2,5b
Calcário	44,9	3,4	17,4	8,8a	4,2a	3,0	2,7b
Silicato	45,0	3,5	17,2	8,9a	4,1a	3,0	3,8a
F	1,61ns	3,71ns	0,65ns	13,21*	11,32*	3,12ns	15,43*
CV(%)	6,64	10,39	9,79	12,34	7,43	8,43	7,43
DMS	2,31	0,37	1,78	0,61	0,38	0,39	1,03

* e ns, significativo, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Os elementos P, K e S igualmente ao N, não apresentaram efeito à aplicação dos corretivos. Quanto à ausência de efeito nos teores de K e S, era de se esperar, pois a os corretivos não proporcionaram elevação nos teores destes nutrientes no solo. Por outro lado, esperava-se que as plantas cultivadas sobre parcelas com corretivos do solo apresentassem valores superiores de P, pois houve aumento nos teores deste nutriente no solo quando utilizados corretivos do solo (Figura 4). A ausência de efeito nos teores de P na soja pode ser explicada pela adição de fósforo na adubação de base já ter fornecido quantidades suficientes deste elemento para a nutrição das planta.

Por outro lado, os teores de Ca e Mg foram superiores nas plantas de soja que receberam a aplicação de corretivos da acidez do solo. Isso evidencia que, ambos os corretivos, foram eficientes em fornecer Ca e Mg às plantas de soja, sendo considerados fontes destes nutrientes para as plantas. Os resultados se relacionam com a elevação dos teores destes elementos no solo quando aplicados corretivos da acidez do solo (Figura 4). Efeitos positivos da calagem sobre a nutrição de Ca e Mg na cultura da soja também foram observados em outros trabalhos com calcário incorporado, no sistema convencional de preparo do solo (RAIJ et al., 1977; QUAGGIO et al., 1982), e na superfície, em Sistema de semeadura direta (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al.,

1999). O cálcio possui um papel estrutural (está presente nos pectatos de cálcio que compõem a lamela média) e um grande papel na regulação do metabolismo da planta. Ele normalmente atua como mensageiro secundário ativando uma proteína chamada calmodulina, a qual, por sua vez, ativa uma série de enzimas. O magnésio está presente na molécula da clorofila. O magnésio também faz parte de muitas metaloenzimas, ou seja, as enzimas que possuem um metal em sua estrutura. A ação conjunta destes dois nutrientes pode ser a chave para as melhores características agronômicas e produtividade obtidas pela soja., quando foram adicionados corretivos da acidez no solo

O teor de silício da parte aérea da cultura da soja variou de acordo com a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário e a ausência da aplicação de corretivo proporcionaram valores de, respectivamente, 2,75 e 2,51 g kg⁻¹ de MS. Estes valores foram significativamente inferiores aos obtidos com a aplicação de silicato (3,85 g kg⁻¹), evidenciando que este corretivo foi eficiente não somente no fornecimento de Ca e Mg à cultura da soja, sendo uma boa fonte de Si para a cultura da soja, mesmo esta não sendo caracterizada como acumuladora de silício. Os valores mencionados foram semelhantes aos encontrados por Grothge-Lima et al. (1998), que encontraram teores de 0,2 a 4,5 g kg⁻¹ quando se aplicou doses de 0 e 100 mg kg⁻¹ de Si em solução nutritiva.

O Si não é considerado elemento essencial às plantas (Jones & Handreck, 1967) porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. No entanto, Epstein (2001) cita efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si como resistência às doenças e pragas, resistência à toxidez provocada por metais, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, nodulação da atividade de enzimas, efeitos na composição mineral, dentre outros. Por isso, o Si é classificado como elemento benéfico ou útil (Marschner, 1995). A deficiência de Si em soja causa sintomas característicos, como a malformação de folhas novas e redução da fertilidade do grão de pólen (MIYAKE & TAKAHASHI, 1985), sendo que a maior disponibilidade deste elemento pode proporcionar maior produtividade de grãos.

Neste estudo, a elevação dos teores de Si das folhas de soja proporcionado pela aplicação do silicato, não foi suficientes para a que este causasse efeito em termos de benefícios agronômicos para a cultura da soja. Pulz et al, (2008), comparando

a aplicação de calcário e silicato em batata, notou elevação nos teores de Si nas folhas e menores perdas de produtividade em decorrência a estresses hídricos.

A Tabela 9 apresenta os dados referentes aos componentes da produção da cultura da soja, submetida, ou não, à aplicação superficial de calcário e de silicato.

Nota-se que a população final de plantas foi afetada de forma significativa pelos tratamentos. Os tratamentos que receberam silicato e os que receberam calcários apresentaram em média, respectivamente, 18489 e 18429 plantas há^{-1} a mais do que o tratamento testemunha. A correção da acidez do solo é tida como fundamental para a germinação e estabelecimento das culturas em campo.

Dentre os componentes da produção, somente o número de vagens por planta não foi influenciado pelo tratamento. Esperava-se que este componente fosse o mais responsivo a aplicação de corretivos, pois está intimamente ligado a produtividade final das culturas.

Por outro lado, as variáveis grãos por vagem e massa de cem grãos foram influenciadas pelos tratamentos, sendo superiores em ambos os tratamentos que receberam adição de corretivos de acidez. Essas características agronômicas influenciam diretamente a produtividade da cultura da soja. A presença dos corretivos também proporcionou aumento da matéria seca da parte aérea da cultura da soja. A melhor nutrição com Ca (elemento ligado à estruturação das plantas) e Mg (elemento fundamental na molécula de clorofila) certamente foram a chave na resposta da soja à aplicação dos corretivos. É de se ressaltar que, os efeitos benéficos dos corretivos foram observados apenas um mês e meio após a aplicação dos mesmos, evidenciando que, mesmo sem a total reação dos corretivos, a aplicação dos mesmos já promove benefícios agronômicos para a cultura da soja.

A Tabela 9 ainda mostra que tanto o calcário como o silicato aplicado em superfície proporcionaram incremento na produtividade de grãos em relação à testemunha. Os incrementos foram superiores a 800 kg ha^{-1} em relação à testemunha. Os resultados podem ser explicados, pelo fato de que a calagem e a silicatagem melhorarem as condições do solo, resultando no aumento da massa de matéria seca, do número de grãos por vagem e a massa de cem grãos o que, conseqüentemente, levou ao aumento da

produtividade. Corrêa et al. (2008) estudando a aplicação superficial de calcário, silicato e outros resíduos, concluíram que a aplicação de calcário e silicato leva a efeitos semelhantes a cultura da soja, proporcionando a elevação na produtividade de grãos da mesma.

TABELA 9. População final, matéria seca, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura da soja em função da aplicação corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Componentes da produção					
	Pop. Final	Vagens por Planta	Grãos por Vagem	Massa de 100 Grãos	Matéria Seca	Produtividade
CORRETIVOS	pl ha ⁻¹	-----nº-----		g	-----kg ha ⁻¹ -----	
Testemunha	382100b	29,01	1,43b	15,35b	2724b	2621b
Calcário	400600a	30,09	1,62a	18,06a	3242a	3448a
Silicato	400500a	28,99	1,64a	17,74a	3356a	3589a
F	4,33*	0,23ns	8,75**	28,40**	1,13*	45,16**
CV(%)	10,71	17,83	9,79	6,51	12,69	9,66
DMS	2.012,40	3,78	0,11	0,80	284,82	224,52

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

A resposta da soja à calagem é bastante conhecida na literatura, quando se trata de cultivo convencional; são vários os trabalhos que mostram aumentos consideráveis da produção devidos à aplicação de calcário (RAIJ et al., 1977; QUAGGIO et al., 1982, 1993). Alguns trabalhos mais recentes têm apresentado efeito expressivo da soja à aplicação de calcário na superfície e altas produtividades da cultura (CAIRES et al., 1998; PÖTTKER e BEN, 1998) em solos ácidos, sob plantio direto sem ocorrência de déficit hídrico.

Sousa et al. (1989) constataram aumentos na produção de grãos de soja com a aplicação de calcário; que a produção máxima foi obtida com 50% de saturação por bases. Tais efeitos, aliados aos resultados do presente trabalho, podem sugerir que a aplicação de calcário e silicato em superfície proporciona os benefícios esperados pela correção do solo, evidenciando ser uma alternativa viável ao sucesso do SPD.

Como não houve diferença estatística nas características agronômicas, tampouco na produtividade das culturas, conclui-se que a maior concentração de silício nas folhas de soja não foi suficiente para proporcionar os relatados efeitos

benéficos deste elemento às plantas. Ressalta-se que, durante a condução da cultura, não houve estresses bióticos ou abióticos significantes para a soja.

5.3.1.2 *Brachiaria ruziziensis*

A produção e manutenção de massa seca sobre o solo é fundamental para o sucesso do SPD. Diante deste fato, é necessária a incorporação de plantas que proporcionem altas produções de massa seca, a fim de elevar os teores de matéria orgânica, manter a umidade no solo em períodos de déficit hídrico, além dos efeitos proporcionados no controle de invasoras e na reciclagem de nutrientes. Neste sentido, forrageiras tropicais como a *Brachiaria ruziziensis* se mostram uma alternativa viável para a manutenção da sustentabilidade do SPD.

Na Tabela 10 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato, em relação à absorção de macronutrientes e produção de matéria seca pela *Brachiaria ruziziensis* semeada após a cultura da soja. Os teores de nutrientes pela parte aérea da planta ocorreram na seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > P > S.

TABELA 10. Teores de macronutrientes, de silício e produção de matéria seca da *Brachiaria ruziziensis*, semeada após a cultura da soja, em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						Produção	
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	MS
CORRETIVOS	-----g kg ⁻¹ -----							kg ha ⁻¹
Testemunha	15,4	2,5b	13,0	5,1b	4,5	0,8	13,7b	4.490b
Calcário	16,0	3,5a	13,6	6,3a	4,7	0,9	13,9b	5.290a
Silicato	16,9	3,5a	12,8	6,4a	4,8	0,9	15,5a	5.220a
F_{calc.}	1,60ns	3,26*	0,60ns	5,71*	0,24ns	0,17ns	16,39**	5,94*
CV(%)	13,04	16,32	10,98	11,39	14,01	14,01	4,68	10,18
DMS	2,40	0,85	1,54	0,91	0,74	0,13	0,17	546,04

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Os teores de N, K, Mg, e S não sofreram influencia pela aplicação superficial de corretivos, não diferindo estatisticamente da testemunha. Esperava-se uma elevação nos teores de Mg nas folhas da forrageira, como ocorreu para a cultura da soja. Por

outro lado, os teores de P e Ca na matéria seca das plantas de *Brachiaria ruziziensis* foram aumentados com a aplicação de ambos os corretivos (Tabela 10).

A elevação dos teores de P na parte aérea da forrageira deve ter sido ocasionado pela maior solubilização de P ligado a Fe e Al, com a elevação do pH. Quaggio et al., 1993 observaram que o aumento do P extraído foi relacionado de forma significativa ao aumento do pH do solo, com coeficientes de correlação 0,62, 0,63 e 0,68, respectivamente, para as profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. A função do fósforo como um elemento constituinte da estrutura molecular é mais proeminente nos ácidos nucleicos (DNA e RNA). Fora das estruturas celulares, o P está intimamente ligado à formação do ATP. O ATP é o principal composto rico em energia requerido para a síntese de amido. A energia do ATP pode ser também transferida para outras coenzimas, por exemplo, uridina trifosfato (UTP) e guanosina trifosfato (GTP), as quais são requeridas para a síntese da sacarose e celulose, respectivamente. Por isso o fósforo está intimamente ligado à produtividade das culturas e produção de matéria seca das mesmas.

Quanto ao Ca, esse incremento era naturalmente esperado, pois, o calcário e o silicato possuem consideráveis quantidades de Ca e elevaram de forma significativa os teores destes nutrientes no solo. Guimarães (2000), trabalhando com doses de calcário, observou aumentos significativos nos teores de Ca na MS de diferentes espécies de gramíneas forrageiras tropicais, à medida que elevou-se a saturação por bases do solo pela aplicação de calcário.

O teor de silício da parte aérea da *Brachiaria ruziziensis* variou de acordo com a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário e a ausência da aplicação de corretivo proporcionaram valores de, respectivamente, 13,93 e 13,67 g kg⁻¹ de MS. Estes valores foram significativamente inferiores aos obtidos com a aplicação de silicato (15,45 g kg⁻¹), evidenciando que este corretivo foi eficiente não somente no fornecimento de Ca à esta forrageira, sendo também uma boa fonte de Si para a *Brachiaria ruziziensis*.

Esta cultura pode ainda ser considerada como acumuladora de Si. De acordo com Ma et al. (2001), são consideradas plantas acumuladoras desse elemento as que possuem teor foliar acima de 10,0 g kg⁻¹. Vale ressaltar, ainda, que os teores tomados como referência por esse autor são apenas foliares.

Sabe-se que são escassos os trabalhos e estudos sobre os efeitos de corretivos do solo na nutrição e produção de MS desta forrageira. Porém a Tabela 10 mostra que a aplicação superficial de corretivos do solo, no caso o calcário e o silicato, proporcionaram elevação na produção de MS de planta em relação à testemunha. Os resultados podem ser explicados, pelo fato de que a calagem e a silicatagem melhoraram as condições do solo, aumentando o pH do solo para valores que favorecem a absorção de P e fornecendo Ca à forragem. Ambos os nutrientes são fundamentais na nutrição das plantas, sendo chave na estruturação da planta e no transporte de energia oriunda da fotossíntese. A melhor nutrição com Ca e P resultou no aumento da produção de matéria seca da *Brachiaria ruziziensis*. O silício por sua vez não foi suficiente para a maior produção de matéria seca desta forrageira.

5.3.1.3 Aveia branca

A cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) ocupa posição de destaque na produção de grãos de cereais de inverno na Região Sul do Brasil, com cultivares de alto potencial de produtividade e qualidade de grãos. A cultura, no Brasil, por muito tempo teve pouca expressão, pois sua utilização visava, principalmente, a produção de forragens, isolada ou associada a outras espécies, cultivando-se principalmente, a aveia preta.

Na Tabela 11 encontram-se os valores relativos teores de macronutrientes e silício na cultura da aveia branca, semeada em sucessão à soja, após a aplicação superficial de corretivos.

Considerando-se os teores de nutrientes na folha bandeira, obteve-se a seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > P > S$, enquanto as faixas de teores consideradas adequadas para aveia indica a sequência $N > K > Ca > P > Mg > S$ (CANTARELLA et al., 1996). Observa-se, quanto a essa ordenação, que houve uma inversão dos valores de Mg e P. Essa inversão pode ser explicada pelas diferenças de manejo da cultura, níveis e quantidades de nutrientes aplicados por meio de adubação e condições climáticas de cada local e época de cultivo.

TABELA 11. Teores de macronutrientes e de silício da cultura da aveia branca em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	-----g kg ⁻¹ -----						
Testemunha	29,5b	3,4	9,3	7,3b	4,0b	3,1	11,1b
Calcário	31,3a	3,1	8,9	9,0a	5,1a	3,2	11,9b
Silicato	32,2a	3,5	9,4	9,3a	4,9a	3,1	13,3a
F_{calc.}	9,16*	0,38ns	1,99ns	9,23**	4,01*	0,31	9,96**
CV(%)	4,21	10,47	6,30	11,61	8,08	15,89	8,10
DMS	1,40	1,11	0,62	1,07	0,91	0,54	1,05

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Foram observadas alterações significativas na absorção de N pela aveia, com a calagem e silicatagem em superfície. A calagem e a silicatagem, por promoverem alteração no pH do solo, podem ter proporcionado a maior mineralização da M.O., resultando em maior disponibilidade de N no solo. Soratto & Crusciol (2008b), estudando doses de calcário, também concluíram que a aplicação deste corretivo eleva os teores de N na parte aérea da aveia preta. O nitrogênio possui forte papel estrutural fazendo parte dos nucleotídeos, os quais formam os ácidos nucléicos (DNA e RNA). Além disso, o nitrogênio está presente nos aminoácidos que formam as proteínas e na própria molécula de clorofila (Epstein e Bloom, 2005), e seu fornecimento à planta é tido como fundamental para cultivos de alto rendimento.

Não foi observado efeito dos corretivos do solo para os teores de P, K e S. Por outro lado, a aplicação dos corretivos aumentou o teor de Ca e Mg na folha bandeira da aveia branca. A ausência de efeito dos corretivos para K e S era de se esperar, pois não alteraram os valores destes nutrientes no solo. Porém para P, ausência de efeito na aveia branca pode ser explicado pelo efeito residual da adubação de base para a soja ter suprido as necessidades da cultura, mesmo na ausência de corretivos.

A resposta dos teores de Ca e Mg de aveia aos tratamentos eram esperadas, pois os corretivos são fontes de Ca e Mg. Estudando o efeito de doses de calcário para a cultura da aveia preta, Soratto & Crusciol (2008b) constataram a elevação nos teores

de P e Ca, quando foi aplicado calcário em superfície, porém observaram redução nos valores de Mg na folha bandeira da aveia preta, devido a elevação na relação Ca:Mg no solo.

Quanto ao teor de Si, verifica-se de a aplicação de silicato proporcionou aumento no teor de silicato na folha de aveia. Os teores de Si na planta estão de acordo com os preconizados por Voronkov et al. (1978). Na planta, o silício concentra-se nos tecidos de suporte, no caule e nas folhas, podendo ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos. Este nutriente possui efeitos benéficos relacionados principalmente com o aumento da resistência ao ataque de pragas (insetos), nematóides e doenças, diminui a taxa de transpiração e, confere maior eficiência fotossintética (ALCARDE, 1992). Entretanto, esta maior absorção de Si observada para a cultura da aveia não resultou em melhorias agrônômicas para esta cultura (Tabela 12).

Na Tabela 12 encontram-se os resultados da aplicação superficial de calcário e silicato na matéria seca e nos componentes da produção da cultura da aveia branca, em sucessão à soja, em SPD. Embora muitas pesquisas tenham sido realizadas objetivando a correção da acidez e a adubação de diferentes culturas de verão (Goedert & Lobato, 1988), em culturas de inverno as pesquisas ainda são incipientes.

TABELA 12. Matéria seca, número de panículas por metro quadrado, numero espiguetas granadas por panícula, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos da cultura da aveia em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Componentes da produção				
	Matéria seca	Panícula	Espiguetas	Massa de 1000	Produtividade
	kg ha ⁻¹	m ⁻²	granadas/panícula	grãos	kg ha ⁻¹
CORRETIVOS	kg ha⁻¹	-----n^o-----		g	kg ha⁻¹
Testemunha	3.242b	220b	40	28,13	1.436b
Calcário	3.750a	252a	44	29,75	2.435a
Silicato	3.818a	253a	45	29,88	2.416a
F_{calc.}	7,64*	6,95**	2,23ns	1,21ns	28,60**
CV(%)	8,94	8,30	12,13	8,58	14,42
DMS	345,46	21,52	5,62	2,69	324,07

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Os resultados positivos da aplicação de corretivos do solo na produção de matéria seca e na produtividade da cultura, podem ser explicados pelo fato de

que a correção do solo melhora suas condições, provavelmente, favorecendo o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes em períodos de deficiência hídrica e, conseqüentemente, proporcionando aumento na produtividade (Caires et al., 2001).

Nota-se que o componente da produção que apresentou diferença significativa em relação à testemunha foi o número de panículas por metro quadrado. Este é, em geral, o componente da produção mais afetado por fatores externos, tendo grande influencia na produtividade final da cultura. A produção de tecido está diretamente ligada aos teores de Ca na planta, sendo que este foi beneficiado pela aplicação dos corretivos. A elevação do numero de panículas por metro² também foi observado por Soratto & Crusciol (2008) trabalhando com doses de calcário, com e sem gesso, para a cultura da aveia preta. Pode-se observar ainda que as variáveis grãos por panícula e massa de mil grãos não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, porém mostram uma tendência de efeito positivo pela aplicação dos corretivos do solo.

Nota-se que a aplicação de corretivos resultou em aumentos na produtividade da aveia branca superiores a mil quilos por hectare em relação à testemunha. Estes resultados vem de encontro com os observados por Corrêa et al, (2008) estudando entre outros corretivos, a ação do calcário e do silicato na cultura da aveia preta, onde estes corretivos, mesmo não diferindo entre si, proporcionaram maiores produtividades em relação à testemunha.. Este fato pode estar relacionado a um possível incremento na produção radicular da cultura, fazendo com que ela suportasse melhor os períodos de estiagens, comuns nesta região naquela época do ano. Além disso, o nitrogênio é um nutriente que está relacionado aos mais importantes processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, tais como fotossíntese (juntamente com o Mg na molécula de clorofila), respiração desenvolvimento e atividade das raízes, absorção iônica de outros nutrientes, crescimento, diferenciação celular e genética. Já o cálcio é fundamental a na estrutura da planta, como integrante da parede celular, sendo também indispensável para a germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico. Portanto, os maiores teores de N, Ca e Mg de certo foram primordiais nas melhorias agronômicas e produtivas observadas pela aplicação superficial de corretivos para esta cultura.

Estes resultados concordam com Soratto & Crusciol (2008) que também observaram aumento na produção de matéria seca e na produtividade da aveia preta

submetida a doses de calcário, com e sem gesso, em SPD. Pode-se constatar ainda que os tratamentos com calcário e silicato não apresentaram diferença significativa entre si.

5.1.2.4 Milheto

O milheto é uma gramínea de clima tropical, de crescimento ereto, altura variando entre 1,50 a 1,80 m e ciclo de 130 a 160 dias, sendo considerado uma espécie rústica, indiferente à textura do solo, com baixa exigência quanto à fertilidade, média tolerância ao Al e ao frio, resistência moderada à geada e boa tolerância à seca, necessitando de no mínimo 600 mm anuais (Salton & Kichel, 1997). Entretanto, apesar da capacidade de produzir em condições extremamente adversas, como em solos de baixa fertilidade, responde muito bem à adubação ou a solos mais férteis e com boa disponibilidade hídrica. No Mato Grosso do Sul, o milheto tem se constituído em uma boa opção de planta de cobertura, assim como no restante de toda a região de cerrado, fornecendo quantidades razoáveis de massa seca, que vem possibilitando o sucesso do SPD. No mesmo estado, chegou-se a obter $9,2 \text{ t ha}^{-1}$ de massa seca no florescimento, aos 50 dias após a emergência (Pereira, 1990).

Na Tabela 13 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato, em relação à absorção de macronutrientes pela cultura do milheto em sucessão à soja, em SPD. A extração de macronutrientes pela parte aérea da planta ocorreu na seguinte ordem: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$. O Si, considerado elemento benéfico, só foi menos extraído que o N e o K.

Os teores de N, K, e S não sofreram influência pela aplicação superficial de corretivos, não diferindo estatisticamente da testemunha. Isso colabora com o fato de não terem ocorrido alterações nos valores de M.O, K e S no solo (Figuras 7, 11 e 14 respectivamente). Por outro lado, os teores de P, Ca e Mg na matéria seca das plantas de milheto foram aumentados com a aplicação de ambos os corretivos, colaborando com os valores destes nutrientes, obtidos nas amostras de solo após a colheita desta cultura (Figuras 10, 12 e 13 respectivamente). Guimarães (2000), trabalhando com doses de calcário, observou aumentos significativos nos teores de Ca na matéria seca de diferentes espécies de gramíneas forrageiras tropicais, à medida que elevou-se a saturação por bases do solo pela aplicação de corretivos.

TABELA 13. Teores de macronutrientes e de silício da cultura do milho em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	-----g kg ⁻¹ -----						
Testemunha	30,3	1,9b	28,0	5,2b	4,3b	1,7	10,7c
Calcário	31,4	2,5a	28,6	7,0a	6,5a	1,7	11,2b
Silicato	32,4	2,8a	28,0	7,3a	6,4a	1,7	11,9a
F _{calc.}	0,33ns	4,42*	0,44ns	11,43*	11,93**	0,17ns	2,71*
CV(%)	16,37	14,16	5,80	10,15	12,30	11,76	9,40
DMS	5,51	0,63	1,76	1,06	1,07	0,22	0,11

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

O P está intimamente ligado à formação do ATP, que é o principal composto rico em energia requerido para a síntese de amido. A energia do ATP pode ser também transferida para outras coenzimas as quais são requeridas para a síntese da sacarose e celulose. Por isso está intimamente ligado a produtividade das culturas e produção de matéria seca das mesmas. O cálcio possui um papel estrutural e um grande papel na regulação do metabolismo da planta. O magnésio está presente na molécula da clorofila, sendo fundamental na transformação de energia solar em carboidratos nas plantas. A ação conjunta destes três nutrientes pode ser a chave para a maior produção de MS pelo milho (Tabela 14)

O teor de silício da parte aérea do milho variou de acordo com a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário e a ausência da aplicação de corretivo proporcionaram valores de, respectivamente, 13,93 e 11,21 g kg⁻¹ de MS. Estes valores foram significativamente inferiores aos obtidos com a aplicação de silicato (15,45 g kg⁻¹), evidenciando que este corretivo foi eficiente não somente no fornecimento de Ca à esta forrageira, sendo também uma boa fonte de Si para o milho. Não foi observado efeito benéfico isolado do Si na produção de matéria seca da cultura do milho.

Esta cultura pode ainda ser considerada como acumuladora de Si. De acordo com Ma et al. (2001), são consideradas plantas acumuladoras desse elemento as

que possuem teor foliar acima de 10,0 g kg⁻¹. Vale ressaltar, ainda, que os teores tomados como referência por esse autor são apenas foliares, da mesma forma que este estudo.

Na Tabela 14 se encontram as médias dos valores referentes a produção de matéria seca do primeiro e segundo cortes, seguidos da médias da produção de matéria seca total de milho, em sucessão à cultura da soja, submetido à aplicação de dois tipos de corretivos da acidez do solo. Nota-se que, tanto na produção de MS do primeiro e do segundo corte, como na produção de MS total, as plantas que se desenvolveram nas parcelas submetidas à aplicação de corretivos tiveram um melhor desenvolvimento, resultando em melhorias na produção de matéria seca. De certo, estes resultando foram influenciados pelos maiores valores de P, Ca e Mg na parte aérea da cultura.

São escassos os trabalhos relacionando aplicação de calcário ou silicato para a cultura do milho. Porém, sabe-se que a correção do solo é uma prática indispensável para a obtenção de alta produtividade em solos ácidos tropicais (PEARSON, 1975). Sua importância para as culturas deve-se aos seus efeitos sobre a neutralização da acidez do solo, ao aumento do pH (RAIJ et al., 1977), à redução do alumínio e manganês tóxicos (MASCARENHAS et al., 1982), ou ainda pelo fato de fornecer cálcio e magnésio como nutrientes (MASCARENHAS et al., 1976).

TABELA 14. Produção de matéria seca do primeiro e segundo corte e produção de matéria seca total da cultura do milho em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Produção de Matéria Seca		
	MS do 1º corte	MS do 2º corte	MS Total
CORRETIVOS	-----t ha ⁻¹ -----		
Testemunha	2,96b	2,47b	5,43b
Calcário	3,92a	3,27a	7,18a
Silicato	3,84a	3,20a	7,04a
F_{calc.}	7,46**	7,49**	7,48**
CV(%)	10,44	10,42	10,43
DMS	0,59	0,49	1,08

**, significativo a 1% pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

5.3.2 Safra 2008/09

Abaixo estão os resultados obtidos pelas culturas e seus efeitos quanto à aplicação superficial de corretivos do solo (calcário e silicato). No caso do milho, estão apresentados também os efeitos dos sistemas de produção sobre as características morfológicas e nutricionais desta cultura.

5.3.2.1 Milho

Tradicionalmente, o milho é cultivado em quase todo Brasil, durante o período das águas e também na safrinha. Trata-se de uma planta C4, que diferentemente das plantas C3, têm alta taxa de fotossíntese e baixa taxa de fotorrespiração, além de apresentarem alta eficiência no uso da água e translocação de fotossintatos e em condições favoráveis, ser uma cultura altamente produtiva, quando a água não é fator limitante (Fageria, 1998).

Na Tabela 15 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato em quatro diferentes sistemas de produção agrícola na absorção de macronutrientes e de silício pela cultura do milho. Para todos os tratamentos empregados, os teores de nutrientes pela parte aérea da planta ocorreram na seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > P > S$. O Si, caracterizado como elemento benéfico, só teve teor inferior aos de N e K.

A concentração dos nutrientes na folha diagnose do milho neste trabalho estão de acordo com as preconizadas por Malavolta et al. (1997) e os teores de Si na planta estão de acordo com os sugeridos por Voronkov et al. (1978).

Pode-se notar que os teores de P, K e S não variaram com a aplicação dos corretivos nem com os sistemas de produção. A ausência de efeito dos corretivos para K e S era de se esperar, pois não alteraram os valores destes nutrientes no solo (Figura 11 e 14). Por outro lado, ausência de efeito dos corretivos nos valores de P das folhas diagnose de milho, mesmo com a elevação dos teores de fósforo no solo (Figura 10), pode ser explicado pela adubação de base efetuada na semeadura da cultura já ter suprido as necessidades deste elemento, mesmo onde não se aplicou corretivo.

Para os valores de N, Ca, Mg e Si na folha diagnose, a aplicação de corretivos promoveu maiores teores em relação à testemunha, na cultura do milho.

TABELA 15. Teores de macronutrientes e de silício na folha diagnose da cultura do milho em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	-----g kg ⁻¹ -----						
Testemunha	31,1b	2,6	12,5	3,5b	3,0b	2,3	9,9c
Calcário	31,8b	2,6	12,5	4,2a	3,6a	2,3	10,6b
Silicato	33,0a	2,7	12,4	4,2a	3,6a	2,3	11,8a
DMSc	0,85	0,10	0,6	0,52	0,31	0,08	0,68
CV%_c	6,42	9,73	6,53	17,32	11,32	4,52	8,51
SISTEMAS							
Pousio	31,9	2,6	12,5	3,9	3,4	2,3	10,8
Safrinha	31,9	2,6	12,4	4,0	3,4	2,3	10,7
Ad. Verde	32,1	2,6	12,4	3,9	3,4	2,3	10,8
Forrageira	32,0	2,6	12,4	4,1	3,4	2,3	10,9
DMSr	0,98	0,20	0,73	0,59	0,36	0,09	0,78
CV(%)	5,32	7,79	8,34	19,57	15,17	4,69	9,24
	-----Valores de F-----						
Corretivos (C)	10,60**	0,22ns	0,06ns	4,69*	9,95**	0,02ns	16,54**
Sistemas (S)	0,04ns	0,05ns	0,02ns	0,26ns	0,02ns	0,49ns	0,10ns
C*S	0,79ns	0,39ns	0,22ns	0,49ns	0,38ns	0,32ns	0,32ns

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Tratando dos valores de N em função dos corretivos, observa-se que a aplicação de silicato proporcionou maiores teores deste nutriente. Nota-se ainda que os valores de silício nas folhas de milho foram superiores no tratamento que recebeu silicato, seguido do calcário e da testemunha. O uso do Si na adubação pode aumentar a quantidade clorofila (cujos principais componentes são o N e o Mg) das folhas. Segundo Elawad et al. (1982) e Savant et al. (1999) a aplicação de 15 t ha⁻¹ de silicato aumentou os teores de clorofila em 78 e 65 % em cana-planta e cana-soca, respectivamente. Isso leva a crer que, conforme relatado para a cultura da cana-de-açúcar, o uso de silício na adubação da cultura do milho resultou no maior teor de N nas folhas, provavelmente pela maior concentração de clorofila nas folhas da mesma.

Conforme ocorrido em outras culturas apresentadas neste trabalho, a aplicação de corretivos proporcionou maiores teores foliares de Ca e Mg. Resultados semelhantes para a cultura do milho foram obtidos por Oliveira et al. (1997) com a aplicação de calcário dolomítico. Taiz & Zeiger (1991) afirmam que o Ca participa como ativador enzimático (complexo Ca-calmodulina), no processo de crescimento da membrana plasmática das células, isto através de bombas de Ca^{+2} situadas entre o tonoplasto e a membrana, portanto, com o aumento da concentração de Ca nas folhas pode-se levar a ganhos na produção de matéria seca e produtividade. Tais ganhos são influenciados pelos teores de Mg absorvido pela planta, pois esse elemento (assim como o N) participa como átomo central da molécula de clorofila, importantíssima na maquinaria fotossintética da planta (Mengel & Kirkby, 1987).

As rotações de cultura não proporcionaram alterações significativas na nutrição mineral das plantas de milho. Esperava-se efeito das sucessões de culturas sobre a nutrição do milho, principalmente devido a diferenças na absorção e posterior liberação de nutrientes ao solo proporcionado pelas culturas de outono/inverno.

De acordo com a análise estatística empregada, não houve efeito da interação entre os fatores estudados, ou seja, corretivos e sistemas de produção agrícola nos teores de macronutrientes e silício na folha diagnose do milho.

Mesmo sem alterar os teores de nutrientes na folha diagnose da cultura do milho (Tabela 15), as rotações de cultura influenciaram a sua produção de matéria seca, o número de grãos por espiga e a produtividade de grãos (Tabela 16). Dentre os componentes da produção, somente o índice de espiga não sofreu influência dos tratamentos estudados. Isso porque a produção de mais de uma espiga por planta é uma característica genética da cultivar, sendo pouco influenciada pelos tratamentos. A elevação da produtividade pode estar relacionada a características extrínsecas à cultura, como menor incidência de pragas e doenças nos restos vegetais das subparcelas que receberam rotações de cultura, melhorias físicas e biológicas do solo, redução da infestação com plantas daninhas, entre outros.

A maior população de plantas seguiu o comportamento já observado para as culturas da soja (Tabela 8). Esse efeito pode ser justificado pelo fato de os corretivos

da acidez do solo proporcionarem melhores condições para o desenvolvimento inicial das plântulas, resultando em um melhor estande.

Quanto ao ganho na produção de matéria seca e na produtividade de grãos, a calagem é uma prática destacada nos trabalhos de Forestieri & De-Polli (1990) e Nwachuku & Loganathan (1991), os quais concluíram que além do aumento da produção de matéria seca houve aumentos significativos dos teores de Ca e Mg nas folhas e colmos de milho. Estes nutrientes são fundamentais na estruturação da planta e transformação de água, nutrientes e energia solar em carboidratos.

Os maiores valores observados nas variáveis grãos por espiga e massa de cem grãos proporcionados pela aplicação do calcário e do silicato, resultaram em um efeito benéfico na produtividade de grãos, sendo que elevaram a produtividade, na média, em 1600 e 1900 kg de grãos ha^{-1} respectivamente em relação à testemunha. Entre os corretivos, não houve diferença quanto aos componentes avaliados, tampouco na produtividade final, embora haja uma tendência de efeito superior quanto à aplicação de silicato em comparação ao calcário.

De fato, o milho é considerado uma cultura responsiva à aplicação de corretivos, embora exista grande variabilidade genética com respeito à tolerância à acidez, vários trabalhos demonstraram aumentos na produtividade da cultura (Fageria, 2001; Caires et al., 2004; Miranda et al., 2005). Oliveira et al. (1997) relataram que a aplicação de 6,6 Mg ha^{-1} de calcário proporcionou a produtividade máxima para a produção de milho em solo de cerrado em um Latossolo Vermelho-Escuro. Por outro lado, Raij & Quaggio (1997) determinaram que a dose econômica de calcário nos solos de cerrado para a cultura do milho foi de 9 Mg ha^{-1} .

Atentando para o efeito dos sistemas de produção conduzidos antes da cultura do milho, observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis: produção de matéria seca, número de grãos por espiga e produtividade de grãos. Observa-se ainda que o índice de espiga não sofreu influência dos tratamentos estudados. Isso porque a produção de mais de uma espiga por planta é uma característica genética da cultivar, sendo pouco influenciada pelos tratamentos.

Na produção de matéria seca, indica o desenvolvimento geral da cultura do milho, nota-se que o sistema Safra – Pousio proporcionou valores de matéria seca

da ordem de, no mínimo, 1220 kg ha⁻¹ a menos que as demais sucessões (Tabela 16). Isso nos faz crer que a área fotossinteticamente ativa da cultura e o seu potencial para produção de grãos sejam reduzidos. Os sistemas Safra – Safrinha, Safra – Adubo Verde e Safra – Forrageira não diferiram entre si.

O outro componente da produção afetado, número de grãos por espiga, teve comportamento semelhante ao apresentado pela matéria seca, ou seja, o sistema Safra – Pousio resultou em valores inferiores aos demais sistemas de produção agrícola, evidenciando os prejuízos que a ausência da proteção do solo durante a entressafra gera na cultura do milho. Sabe-se que número de grãos por espiga é o componente que mais influencia a produtividade final do milho.

O conjunto de melhorias proporcionadas pelos sistemas de produção em que foram cultivadas plantas entre as duas safras de verão (soja – milho) levou a um efeito positivo na produtividade final da cultura do milho. A produtividade do milho no sistema Safra - Pousio foi, no mínimo, cerca de 1300 kg ha⁻¹ inferior aos demais sistemas de produção, que por sua vez não diferiram entre si.

O cultivo de milho, na ausência de rotações de cultura, pode ser prejudicado pelo aumento da incidência das PBC (doenças da base do colmo) e de seus danos, na medida em que a incidência da doença é reduzida em sistemas onde existe distribuição das culturas distintas durante o ciclo (Del Rio & Zúgia, 1991). Outras doenças, como as podridões da espiga (que causam os chamados grãos ardidos) são potencializadas quando se pratica a monocultura principalmente se associada à prática do plantio direto (Reis & Casa, 1996).

Por outro lado, justificando os benefícios proporcionados pelos sistemas de produção onde se promoveu o cultivo de diferentes espécies vegetais durante a entressafra, vários autores citam que a rotação de culturas e a adubação verde podem provocar incrementos na produção de culturas subseqüentes em até 65% em relação a contínuos cultivos de verão (MIYASAKA et al., 1965; FERRAZ et al., 1977; TANAKA et al., 1992; RODRIGUES FILHO et al., 1996).

De acordo com a análise estatística empregada, não houve efeito da interação entre os fatores estudados, ou seja, corretivos e sistemas de produção agrícola, nas características agronômicas e na produtividade da cultura do milho.

TABELA 16. População final, matéria seca, número de grãos por espiga, índice de espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura do milho em função da aplicação de corretivos e de sistemas de produção grãos em plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Componentes da produção					
	População	Matéria seca	Grãos por espiga	Índice de espiga	Massa de 100 grãos	Produtividade
	Pl. ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	-----nº-----		g	kg ha ⁻¹
CORRETIVOS						
Testemunha	57186b	15560b	397b	1,21	36,37b	6222b
Calcário	58947a	17890a	440a	1,22	38,12a	7881a
Silicato	58333a	18050a	442a	1,21	38,25a	8115a
DMS	2543	1874	30,53	0,05	1,25	337
CV(%)	5,46	10,23	7,47	10,27	3,53	7,11
SISTEMAS						
Pousio	58679	16280b	388b	1,21	37,17	6279b
Safrinha	56944	17500a	440a	1,23	37,00	7852a
Ad. verde	58101	18180a	437a	1,22	37,50	7653a
Forrageira	58898	17950a	441a	1,23	37,33	7839a
DMS	2937	1220	35,25	0,04	1,44	435
CV(%)	7,00	9,36	9,54	9,32	5,02	7,01
-----Valores de F-----						
Corretivos	1,02*	15,33*	5,58**	0,74ns	4,69*	61,92**
Sistemas (S)	0,74ns	14,32*	4,39*	0,72ns	0,18ns	24,96**
C*S	1,82ns	1,50ns	1,59ns	0,83ns	0,92ns	1,78ns

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

5.3.2.2 *Brachiaria ruziziensis*

A produção e manutenção de massa seca sobre o solo é fundamental para o sucesso do SPD. Diante deste fato, é necessária a incorporação de plantas que proporcionem altas produções de massa seca, a fim de elevar os teores de matéria orgânica, manter a umidade no solo em períodos de déficit hídrico, além dos efeitos proporcionados no controle de invasoras e na reciclagem de nutrientes. Neste sentido, forrageiras tropicais como a *Brachiaria ruziziensis* se mostram uma alternativa viável para a manutenção da sustentabilidade do SPD.

Na Tabela 17 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato, em relação à absorção de macronutrientes e produção de matéria seca pela *Brachiaria ruziziensis* semeada no conjuntamente com a cultura do milho, porém na

caixa de adubo da semeadora, caracterizando o sistema Safra - Forrageira. Os teores de nutrientes na parte aérea da planta ocorreram na seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > S > P$. O Si, tido como elemento benéfico às plantas, só teve menor teor que o N e K na parte aérea desta forrageira.

TABELA 17. Teores de macronutrientes, de silício e produção de matéria seca da *Brachiaria ruziziensis*, semeada juntamente com a cultura do milho, em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca							Produção
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	MS
CORRETIVOS	----- g kg ⁻¹ -----							kg ha⁻¹
Testemunha	19,9b	0,7b	19,2	5,5b	1,6b	1,0	14,4b	3.568b
Calcário	20,0b	0,9a	19,5	7,2a	2,0a	1,0	14,7b	4.373a
Silicato	23,6a	0,9a	18,9	7,2a	1,9a	1,0	16,4a	4.090a
F_{calc.}	89,99**	3,80*	0,32	21,11**	4,02*	1,32ns	16,64**	5,94*
CV(%)	2,96	12,86	8,06	9,04	12,10	7,44	7,51	10,19
DMS	0,67	0,12	1,66	0,65	0,34	0,09	1,39	500,03

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$).

Do mesmo modo que a cultura da aveia branca (Tabela 12), esta forrageira também apresentou valores superiores de nitrogênio quando se aplicou silicato. O uso do Si na adubação pode aumentar a quantidade de clorofila (cujo um dos principais componentes é o N) das folhas.

Nota-se que os teores de K e S não foram alterados pelos tratamentos utilizados, resultado esperado pois os corretivos não alteraram a concentração destes nutrientes no solo. Por outro lado, os teores de P, Ca, Mg, Si e a produção de matéria seca sofreram influência da aplicação superficial de corretivos da acidez do solo.

Quanto aos teores de P, Ca, Si e matéria seca, a *Brachiaria ruziziensis* semeada em consorcio com o milho se comporto da mesma forma que a *Brachiaria ruziziensis* semeada em consorcio com a soja, no ano agrícola anterior (Tabela 10). A diferença entre os dois anos agrícolas é que no segundo, a cultura da *Brachiaria ruziziensis* apresentou maiores teores de Mg quando foi aplicado ambos os corretivos de

solo estudados, colaborando com os resultados a amostra de solo, onde se comprova a elevação dos teores de P, Ca, Mg.

O teor de silício da parte aérea da *Brachiaria ruziziensis* variou de acordo com a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário e a ausência da aplicação de corretivo proporcionaram valores de, respectivamente, 14,41 e 14,70 g kg⁻¹ de MS. Estes valores foram significativamente inferiores aos obtidos com a aplicação de silicato (16,43 g kg⁻¹), evidenciando que este corretivo foi eficiente não somente no fornecimento de Ca à esta forrageira, sendo também uma boa fonte de Si para a *Brachiaria ruziziensis*.

Os melhores resultados na nutrição mineral desta cultura, quando submetida a aplicação de corretivos da acidez do solo, levou a maior produção de matéria seca total. Isso resultou uma melhor cobertura vegetal durante a entressafra, protegendo o solo contra agentes causadores de erosão. Guimarães (2000), trabalhando com doses de calcário, observou aumentos significativos nos teores de Ca, Mg e na MS de diferentes espécies de gramíneas forrageiras tropicais, à medida que elevou-se a saturação por bases do solo.

5.3.2.3 Feijão

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais difundidas no Brasil, tendo, além do caráter econômico, um alto significado social, por ser um alimento básico para a população. Entretanto, apesar de sua importância, ainda apresenta uma produtividade média relativamente baixa.

Um dos maiores problemas do cultivo de feijão em solos ácidos é o elevado teor de alumínio e manganês trocáveis, que prejudica o desenvolvimento das plantas. Uma das técnicas mais importantes é o uso adequado dos corretivos agrícolas. A aplicação de calcário traz grandes benefícios ao solo, pois eleva o pH, a saturação por bases, reduz o alumínio e manganês trocáveis, fornece cálcio e magnésio e melhora as condições do solo para os microrganismos (Quaggio, 1985).

Na Tabela 18 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato, em relação à absorção de macronutrientes pela cultura do feijão. Os teores de nutrientes pela parte aérea da planta ocorram na seguinte ordem: N > K > Ca > P >

Mg = S. O Si, caracterizado como elemento benéfico, teve teor semelhante ao de S na folha diagnose do feijão.

TABELA 18. Teores de macronutrientes e de silício da cultura do feijão em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	----- g kg ⁻¹ -----						
Testemunha	32,5	3,0	30,5	16,4b	2,6	2,7	2,8b
Calcário	32,5	3,1	30,1	18,3a	2,8	2,8	2,9b
Silicato	32,7	3,1	30,4	18,7a	2,9	2,7	3,2a
F_{calc.}	0,14ns	0,11ns	0,19ns	19,59**	0,59ns	0,19ns	29,88**
CV(%)	7,66	13,12	18,53	4,08	14,65	12,76	3,44
DMS	2,68	0,44	6,04	0,80	0,44	0,39	0,11

** e ns, significativo a 1% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Dentre os macronutrientes analisados, somente o Ca apresentou resposta a aplicação superficial de corretivos. Efeitos positivos da calagem superficial sobre a nutrição de Ca também foram observados em outros trabalhos em SPD (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999), porém na cultura da soja.

Os maiores índices de Si nas plantas que receberam a silicatagem indicam que a sua absorção e translocação no feijoeiro são favorecidas com a aplicação de silicato, embora o feijoeiro não seja classificado como planta acumuladora (Ma et al., 2001). Com isso, pode-se afirmar que o silicato é uma boa fonte de Si para a cultura do feijão.

A Tabela 19 apresenta os dados referentes aos componentes da produção da cultura do feijão, submetido, ou não, à aplicação superficial de calcário e de silicato.

Nota-se que a população final de plantas foi afetada de forma significativa pelos tratamentos (Tabela 19). Os tratamentos que receberam silicato e os que receberam calcário e silicato apresentaram em média, respectivamente, 181125 e 177750 plantas ha⁻¹ enquanto a testemunha apresentou somente 148500 plantas ha⁻¹. Em contraste com estes resultados, Vieira (1989) não observou melhorias na germinação de sementes de feijão, mesmo quando submetidas à doses de 12 toneladas de calcário por hectare.

A matéria seca das plantas de feijão foi influenciada positivamente com a aplicação dos corretivos do solo. O maior teor de Ca, por ser um elemento fundamental na estrutura das plantas e na atuação no meristema, influenciou positivamente esta característica.

Nota-se que a massa de 100 grãos de feijão foi influenciada pela aplicação dos corretivos, aumentando a massa quando os mesmos foram aplicados. Por outro lado, Oliveira et al. (1977) e Vieira (1989) não verificaram efeito de doses de calcário no peso de 100 sementes de feijão, justificando este ser uma característica ligada a genética da planta.

Todos os componentes da produção levaram ao aumento da produtividade do feijão, porém o componente grãos por vagem foi o que definiu o melhor desempenho do silicato em relação ao calcário, pois foi o único que apresentou tendência superior ao corretivo que apresenta concentrações consideráveis de silício em sua formulação.

TABELA 19. População final, matéria seca, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura do feijão em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Componentes da produção					
	Pop. Final	Matéria Seca	Vagens por Planta	Grãos por Vagem	Massa de 100 Grãos	Produtividade
	pl ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	-----nº-----		g	kg ha ⁻¹
CORRETIVOS						
Testemunha	148500b	1256b	1,58b	2,06b	23,33b	458,17c
Calcário	181125a	1779a	2,38a	2,28ab	26,58a	699,79b
Silicato	177750a	1808a	2,50a	2,59 ^a	27,09a	809,05a
F_{calc.}	8,60*	8,41*	8,40*	4,41*	17,00**	27,11**
CV(%)	10,23	18,75	20,77	17,69	5,44	12,84
DMS	18556	324,53	0,53	0,44	1,49	86,61

** e *, significativo a 1% e a 5% pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

As produtividades alcançadas foram de 458, 700 e 809 kg.ha⁻¹ para os tratamentos testemunha, calcário e silicato respectivamente. Notou-se que todos os tratamentos diferiram entre si pela análise estatística empregada. A média dos tratamentos com corretivos foi superior à média nacional, que se situa em torno de 600 kg ha⁻¹ (Santos &

Braga, 1998). Para esse comportamento próximo da média, justifica-se as condições climáticas menos favoráveis, principalmente pela menor disponibilidade hídrica (Figura 1).

O feijoeiro tem apresentado respostas acentuadas à calagem, com aumento significativo de produtividade, em solo de cerrado (Miranda et al., 1980; Fageria & Stone, 1999). Raij & Quaggio (1997) determinaram que a dose econômica de calcário nos solos de cerrado para a cultura do feijão foi de 6,5 Mg ha⁻¹. Barbosa Filho & Silva (2000) relataram que a aplicação de 3 t ha⁻¹ aumentou significativamente a produção de feijão em solo de cerrado.

Notou-se que as plantas que receberam o tratamento com silicato, ou seja, um corretivo de solo que fornece, entre outros elementos, o silício às plantas, obtiveram os melhores resultados em termos de produtividade. Isso pode ser explicado pela importância do silício para algumas espécies de plantas, que vem sendo demonstrada por vários autores. Mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico e metabólico para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Epstein, 1994), a absorção de Si traz inúmeros benefícios, relacionados com a resistência a pragas e doenças, capacidade fotossintética (as folhas ficam mais eretas e a incidência de luz é maior) e tolerância à falta de água (Anderson et al., 1991). Como o estresse mais significativo neste cultivo foi o déficit hídrico (Figura 1), isso nos leva a crer que o silício teve papel fundamental na tolerância das plantas de feijão à falta de água ocorrida durante o cultivo. Pulz et al. (2008), estudando o efeito dos mesmos corretivos porém na cultura da batata, observaram que a elevação no teor foliar de Si proporcionou maior resistência às plantas ao estresse hídrico, comprovando o efeito benéfico do Si nestes casos.

5.3.2.4 Guandu

O guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa de origem africana, adaptada à região tropical, onde se desenvolve numa ampla faixa de precipitações pluviais, que vai de 500 mm a 1500 mm por ano. É uma planta de múltiplos usos, quer seja como fornecedora de grãos, quer seja como planta forrageira para a obtenção de forragem rica em proteína, ou mesmo como cultura melhoradora do solo, pela adubação verde (Seiffert & Tiago 1983). O guandú é uma planta com capacidade de reciclar elevadas quantidades de nutrientes do solo, apresentando alta produção de massa seca (Alcântara et al., 2000). Ele

tem sido recomendado por ter sistema radicular agressivo, com alta densidade e comprimento, e por crescer em solos com estado de compactação restritivo às culturas produtoras de grãos (Cubilla et al., 2002).

Na Tabela 20 são mostrados os efeitos da aplicação superficial de calcário e silicato, em relação à absorção de macronutrientes e de silício pela cultura do guandu. Os teores de nutrientes na parte aérea da planta ocorram na seguinte ordem: $N > Ca > K > Mg > P > S$. O Si, elemento benéfico também avaliado, teve teor semelhante ao do S na parte aérea do guandu.

TABELA 20. Teores de macronutrientes e de silício da cultura do guandu em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	Teor de macronutrientes na matéria seca						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
CORRETIVOS	----- g kg ⁻¹ -----						
Testemunha	39,0b	2,5b	18,2	22,0b	4,0b	1,4	2,4c
Calcário	39,1b	2,6b	18,1	27,8a	4,9a	1,4	2,6b
Silicato	40,9a	3,2a	18,0	27,2a	5,4a	1,5	2,9a
F_{calc.}	3,98*	30,06**	0,03ns	30,78**	12,74**	0,17ns	12,22**
CV(%)	3,79	6,77	8,65	8,80	11,56	14,57	7,64
DMS	1,61	0,21	1,68	2,24	0,60	0,23	0,22

**, * e ns, significativo a 1%, a 5% e não significativo pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$).

Pode-se notar que somente os teores de K e S não variaram com a aplicação dos corretivos. Este resultado era esperado, pois os valores destes elementos no solo não foram alterados pela aplicação dos corretivos. Para os valores de N, a aplicação de silicato promoveu maiores teores deste nutriente na cultura do guandu. O uso do Si na adubação pode aumentar a clorofila (cujo um dos principais componentes é o N) das folhas. Segundo Elawad et al. (1982) e Savant et al. (1999) a aplicação de 15 t ha⁻¹ de silicato aumentou os teores de clorofila em 78 e 65 % em cana-planta e cana-soca, respectivamente.

Os valores de P também foram influenciados pelo fornecimento de silício pela adição de silicato em superfície. Os valores de P foram significativamente superiores aos obtidos pelos outros dois tratamentos, evidenciando que o silicato disponibilizou, de alguma forma, mais P para a cultura do guandu. Segundo Pluckenet

(1972) a aplicação de silicato aumenta a solubilidade do fósforo no solo e diminui a "fixação" desse elemento contido nos fertilizantes fosfatados, porém discute-se se o efeito favorável desse fertilizante na absorção de fósforo e na produção de matéria seca deve-se (a) ao aumento na absorção de silício; (b) a menor "fixação" do fósforo causado pela elevação do pH, já que o silicato é um corretivo da acidez do solo; (c) à competição entre o silicato e o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo ou (d) ao conjunto destes fatores. Assim, a correção da acidez com silicato, além de elevar o pH do solo, poderia aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, pelo efeito adicional do deslocamento do fósforo adsorvido nos colóides para a solução, e também pela diminuição da fixação desse elemento contido nos fertilizantes fosfatados.

Os valores de Ca e Mg foram influenciados pela aplicação de ambos os corretivos, diferindo estatisticamente dos valores encontrados para a testemunha. Isso era de se esperar, já que ambos os corretivos possuem altas quantidades de Ca e Mg em suas formulações e proporcionaram a elevação nos teores de Ca e Mg no solo.

Outro efeito esperado era o aumento de Si nas plantas cultivadas sobre as subparcelas que receberam aplicação de silicato, pois este produto possui quantidades consideráveis de Si. O fato de o guandu, quando tratado com silicato, apresentar maior valor de Si aponta para que a cultura seja responsiva a adubação com tal nutriente.

Notou-se que as plantas que receberam o tratamento com silicato, ou seja, um corretivo de solo que fornece, entre outros elementos, o silício às plantas, obtiveram os melhores resultados em termos de produção de matéria seca (Tabela 21). Isso pode ser explicado pela importância do silício para algumas espécies de plantas, que vem sendo demonstrada por vários autores. Mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico e metabólico para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Epstein, 1994), a absorção de Si traz inúmeros benefícios, relacionados com a resistência a pragas e doenças, capacidade fotossintética (as folhas ficam mais eretas e a incidência de luz é maior) e tolerância à falta de água (Pulz et al., 2008).

São escassos os trabalhos relacionando a aplicação de corretivos do solo com a produção de MS de guandu. O melhor desempenho ocorreu quando se aplicou silicato em superfície (2228 kg de MS ha⁻¹), seguido da aplicação de calcário (1878 kg de MS ha⁻¹) e da testemunha (1309 kg de MS ha⁻¹). Boldieri et al. (2003) encontraram, em

guandu, uma produção de matéria seca da parte aérea de 2190 kg ha^{-1} , aos 60 dias de idade. Já Burle et al. (1994), em condição de seca, obtiveram produções variando de 1087 kg ha^{-1} a 3236 kg ha^{-1} MS para o guandu.

TABELA 21. Produção de matéria seca da cultura do guandu em função da aplicação de corretivos, em sistema plantio direto. Botucatu, SP (2008).

Tratamentos	MS Total
CORRETIVOS	kg ha⁻¹
Testemunha	1309c
Calcário	1878b
Silicato	2228a
F _{calc.}	75,45**
CV(%)	8,37
DMS	162,01

** significativo a 1% pelo Teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$).

5.4 Análise econômica

Na Tabela 22 estão apresentados de forma resumida os custos operacionais totais, receitas brutas e receita líquida, das sucessões de culturas utilizadas durante a condução do experimento, após a utilização de dois corretivos do solo. O valor do dólar comercial é referente a 19 de dezembro de 2008 (US\$ 1,00 = R\$ 2,35).

O custo operacional foi composto pelas operações mecanizadas, como semeadura, adubação de cobertura, aplicação de agroquímicos e colheita; dos insumos utilizados, como os agroquímicos, sementes e fertilizantes; demais despesas e depreciação de maquinário e equipamentos. A receita bruta foi resultado da multiplicação da produtividade obtida no sistema pelo valor venal dos grãos.

Nota-se na Tabela 22 que em um sistema sem utilização de corretivos do solo, a prática da safrinha se torna de extremo risco, não sendo recomendada para regiões de inverno seco. Neste caso, a utilização de apenas uma safra de verão foi que proporcionou o melhor resultado em termos de receita líquida.

Entre os sistemas de produção estudados, os tratamentos com utilização da adubação verde proporcionaram as piores receitas líquidas. Esta baixa

lucratividade ocorreu devido ao maior gasto com sementes, maior número de operações de semeadura e uma dessecação a mais da área que onde o adubo verde foi semeado, o que refletiu na elevação do Custo Operacional Total (COT). Talvez se levarmos em conta os benefício a longo prazo que esta prática resulta, esta receita ficaria mais positiva;

TABELA 22 – Custo operacional total (COT), receita bruta e receita líquida de algumas sucessões de culturas, em função da aplicação de corretivos. Botucatu, SP (2008).

TRATAMENTOS		COT	RECEITA BRUTA	RECEITA LÍQUIDA	
CORRETIVO	SUCESSÃO	R\$	R\$	R\$	US\$
Testemunha	Safra – Pousio	3.464	4.493	1.229	523
Testemunha	Safra – A. Verde	4.069	4.493	424	180
Testemunha	Safra – Forrageira	3.646	4.493	847	361
Testemunha	Safra – Safrinha	5.213	5.904	690	293
Calcário	Safra – Pousio	3.600	5.802	2.201	936
Calcário	Safra – A. Verde	4.205	5.802	1.597	679
Calcário	Safra – Forrageira	3.772	5.802	2.020	859
Calcário	Safra – Safrinha	5.349	8.063	2.714	1.154
Silicato	Safra – Pousio	3.744	6.007	2.263	963
Silicato	Safra – A. Verde	4.349	6.007	1.658	705
Silicato	Safra – Forrageira	3.926	6.007	2.081	886
Silicato	Safra – Safrinha	5.493	8.446	2.952	1.256

A aplicação de ambos os corretivos proporcionou ganho extra na produtividade em todos os sistemas, mesmo apresentando um COT superior à testemunha devido ao custo dos corretivos e o frete no momento da compra dos mesmos. Entre os corretivos, mesmo sendo mais oneroso que o calcário e utilizando uma dose ligeiramente superior, a receita líquida do silicato foi muito semelhante a do calcário, evidenciando sua viabilidade econômica.

A safrinha pode ser considerada um manejo conservacionista, ainda que não muito eficiente, pois, do ponto de vista prático, foi o sistema proporcionou as melhores receitas líquidas, em função da receita obtida com a produção de grãos na entressafra. Essa receita extra cobriu o COT, que foi superior aos demais sistemas devido a semeadura, colheita e gastos com sementes, adubos e herbicidas para dessecação da área.

Isso nos leva a crer que este sistema é viável aos produtores da região de Botucatu – SP que utilizam corretivos da acidez do solo.

A sucessão Safra – Forrageira proporcionou boa receita líquida ao longo dos anos, sendo uma alternativa viável para a produção de palhada e sustentabilidade do SPD durante a entressafra em regiões de inverno seco. A receita líquida deste sistema foi superior à obtida pelo sistema com adubação verde. Isso ocorreu pelo baixo custo da semente de braquiária e pela redução nos gastos com herbicidas para dessecação da área. Se fosse levado em conta o ganho deste sistema com a engorda de animais na entressafra, a receita do sistema poderia ser ainda mais superior.

6. CONCLUSÕES

A utilização de silicato em superfície, por promover todos os benefícios esperados por um corretivo do solo, pode substituir a aplicação de calcário, com a vantagem do fornecimento de Si no sistema.

A utilização do silicato pode elevar os teores de fósforo do solo.

A aplicação de corretivos na superfície do solo aumenta a produção de matéria seca da soja, braquiaria, aveia branca, milheto, milho, feijão e guandu e a produtividade de grãos das culturas de soja, aveia branca, milho e feijão.

A aplicação de silicato eleva os teores de silício nas folhas em todas as culturas estudadas.

O fornecimento de silício elevou a produtividade de grãos de feijão e a produção de matéria seca de guandu, em condições de estresse hídrico.

A aplicação de ambos os corretivos elevou a receita líquida em todos os sistemas estudados, mesmo apresentando um custo operacional total superior à testemunha.

Dentre os sistemas estudados, a sucessão Safra – Safrinha, quando recebe corretivos do solo, proporciona a maior receita líquida.

A cultura do milho não foi afetada por nenhum dos sistemas de produção estudados.

O sistema Safra – Pousio prejudica a estabilidade dos agregados e eleva a resistência a penetração da camada superficial do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABREU, S.L. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 65p. (Tese de Mestrado)

ADEGAS, F. S. Manejo integrado de plantas daninhas. In: CONFERENCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Pato Branco. **Resumo de palestras...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p 26 – 47.

ALCÂNTARA, F.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.2, p.277 – 288, 2000.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. cap.3, p.97 – 117.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim Técnico, 6).

ALVARENGA, R.C. **Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. Viçosa, 1993. 112p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

ALVAREZ, V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (Eds.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: Embrapa-CNPSO/IAPAR/ SBCS, 1988. p.31-59.

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, p.189 – 191, 1997b. (Boletim técnico, 100).

ANDERSON D.L.; SNYDER, G.H. & MARTIN, F.G.. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on everglades histosols. **Agron. J.**, 8:870- 874, 1991.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FLECK, N.G.; BORTOLINI, C.G.; NEVES, R.; AGOSTINETTO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, n.6, p.851 – 860, 2001.

AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 20, n. 2, p.191 – 198, 1996.

BALDEÓN, J.R.M. Efeito da ação alcalinizante e do silício na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos. Piracicaba, 1995. 92p. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1995.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Aspectos agroeconômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigado por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 11, p. 1657-1667, nov. 1994.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, Q. F. Adubação e aplicação de corretivos para a cultura do feijoeiro irrigado em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.7, p. 1317 – 1324, 2000.

BARIZON, R.R.M. Calagem na superfície para a cultura da soja, em semeadura direta sobre *Brachiaria brizantha*. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001. 88p. (**Tese de Mestrado**)

- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41).
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4.ed. New York: J. Wiley, 1972. 529p.
- BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.8, n.1, p.155 – 163, 2004.
- BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.8, n.1, p.155 – 163, 2004.
- BROCH; D.L.; PITOL; C., SPERA S.T. Influência de doses de fósforo e uso de calcário e gesso sobre o rendimento da soja em plantio direto sobre pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, v.38, p.17 – 18, 1997.
- CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p.27 – 34, 1998.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.1, p.161 – 169, 2000.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:1029-1040, 2001.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Redução da acidez e movimentação de bases do solo pelo uso de calcário e gesso na superfície e resposta da soja e do milho cultivados em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, p.30 – 31, 1996.
- 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**, Viçosa, MG, v.23, n. 2, p.315 – 327, 1999.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Aplicação de corretivos superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, p.87 – 98, 2006.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à aplicação de corretivos e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.125 – 136, 2004.

CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: _____. **Guia para plantio direto**. Ponta Grossa: FBPD, 2000. p.68 – 78.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 32 p.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van & CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A & FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed.** Campinas, Instituto Agrônômico do Campinas, 1996. p.45-71.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:527-538, 1998.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, n. ,p.163 – 171, 2002.

CIOTTA, M.N. Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno aluminoso sob plantio direto há 20 anos. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 100p. **(Tese de Mestrado)**

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; FERNANDES, D.M.; PERES, M.G.M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia Preta. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1583-1590, 2008a.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1307-1317, 2007.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; TECCHIO, M.A. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1209-1219, 2008b.

COSTA, F.S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimentos de longa duração**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado)

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, J.M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, v.71, p.29 – 32, 2002.

DALTO, G. Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar. 2003. 90 p. **Dissertação (Mestrado em Solos)** - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.23, n.3, p. 703 – 709, 1999.

DEL RIO, L. & ZÚNGIA, T. Efecto de algunas practicas culturales y fechas de recoleccion en la incidencia de Stenocarpella maydis (Berk.) Sutton en maiz sembrado en dos sistemas de labranza. **Ceiba** v.32, p.141-149, 1991.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, Ü. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, 1991. 268p.

determination of silicon in rice straw. **J. Agric. Food. Chem.**, 39:1118-1119, 1991.

E.F. FORESTIERI AND H. DE POLLI, Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucunapreta num podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 14, pp. 165–172. 1990.

- EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. & BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats tilled and untilled loess soil. **Soil Till. Res.**, 3:261-275, 1983.
- ELAWAD, S.H.; GASCHO, G.J. & STREET, J.J. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. **Agron. J.**, 74:481-483, 1982.
- ELLIOTT, C.L. & SNYDER, G.H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSO, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2.ed. Brasília: Embrapa – SPI, 1996. 204p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSO, 1999. 412p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAP, 1999. 42 p. (Documentos, 92).
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, n.17, p.2675 – 2682, 1998.
- FERRAZ, C.A.M.; CIA, E.; SABINO, N.P. Efeito da mucuna e amendoim em rotação com algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, SP, v.36, p.1 – 9, 1977.
- FORESTIERI, E.F.; DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna preta num podzólico Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.167-172, 1990.
- FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M. FERREIRA, M.M.; GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.2, p.459 – 467, 2000.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n. ,p.533 – 542, 1999a.

- 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, SP, v.58, n.2, p.357 – 360, 2001a.
- FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.12, p.2267 – 2276, 1999b.
- GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto**. Passo Fundo, RS, Aldeia Sul, 1996. 207p.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. O solo como base dos sistemas de produção agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. **Anais**. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.101-108.
- GROTHGE-LIMA, M.T Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. Meridionalis), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. 1998. 58f. Tese (**Doutorado**) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- GUIMARÃES, G. F. P. B. Avaliação de quatro forrageiras tropicais cultivadas em dois solos da Ilha de Marajó–PA submetidos a crescentes saturações por bases. 2000. 197 f. **Tese** (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- HECKLER, J.C.; HERNANI, L.C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z (Org.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa – SPI, 1998. p.37 – 49.
- HUNTER, D. J.; YAPA, L. G. G.; HUE, N. V.; EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.1, p.375 – 388, 1995.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.7, p.1493 – 1500, 2000
- Jones, L.H.P.; K.A. Handreck. 1967. **Silica in soils, plants, and animals**. Adv. Agron. 19: 107-149.

- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. p.499-510.
- KICHEL, A .N. Pastagens. **DBO Rural**, São Paulo, v.16, n.207, p.64 – 66, 1998.
- KICHEL, A.; MACEDO, M.C. **milheto**. Campo Grande: Embrapa/CNPQC, 1994. 2p. (EMBRAPA/ CNPQC, v.7, n.2).
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo – planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A.P.; TEIXEIRA, S.M.; OLIVEIRA, E.T. **Renovação de pastagem de cerrado com arroz**. I. Sistema Barreirão. Goiânia : Embrapa-CNPAC, 1991. 20p. (Embrapa-CNPAC. Documentos, 33).
- KORNDÖRFER, G.H. PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi – ICIAG – UFU, 2002. 23p. (Boletim Técnico).
- KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de Si em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p. 101 – 106, 1999.
- LEITE, P. C. Interação silício-fósforo em Latossolo-Roxo cultivado com sorgo em casa-de-vegetação. Viçosa : UFV, 1997. 87 p. **Tese de Doutorado**.
- LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v.2, 1994. 168p.
- MA, J.F., MIYAKE, Y. & TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H. & Korndörfer, G.H. (Eds.). Silicon in Agriculture. Amsterdam. **Elsevier Science**. p.17-39, 2001.
- MARTIN, N.B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M.D.M.; ÂNGELO, J.A.; OKAWA, H. **Sistema “CUSTAGRI”**: sistema integrado de custos agropecuários. São Paulo: IEA/SAA, 1997. 75p.
- MARSCHNER, 1995. H. MARSCHNER, **Mineral Nutrition of Higher Plants**. (2nd edn. ed.), Academic Press, London (1995).
- MASCARENHAS, H.A.A. & TANAKA, R.T. Soja. In: RAIJ, B.van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem**

para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1997. 285p.

MASCARENHAS, H.A.A.; GALLO, J.R.; RAIJ, B. van; IGUE, T.; BATAGLIA, O.C. Efeitos da calagem nas características químicas do solo e na nutrição de soja em Latossolo Roxo distrófico. **Bragantia**, Campinas, v.35, p.273-278, 1976.

MASCARENHAS, H.A.A.; NOGUEIRA, S.S.S.; TANAKA, R.T.; MARTINS, A.L.M.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito na produtividade da rotação de culturas de verão e crotalária no inverno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.55, n.3, p.534 – 537, 1998.

MASCARENHAS, H.A.A.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C.; TEIXEIRA, J.P.F. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill à aplicação de doses de calcário em solo Latossolo roxo distrófico de cerrado. I. Efeito imediato. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, Brasília, 1981. **Anais**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1982. v.2, p.742-51.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P.F.; TOLEDO, P.N.E.; DULLEY, R.D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I.A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.23, n.1, p.123 – 139, 1976.

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

MENGEL, K.; KIRKUBY, E.A. Principles of Plant Nutrition. Worblaufen-Bern, Switzerland: **International Potash Institute**, 1987.

MENZIES, J.G., D.M. EHRET, A.D.M. GLASS, T. HELMER, S. KOCH & F. SEYWERD.. The effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* (Shlect. Fr.) Poll. on *Cucumis sativus* L. **Phytopathology** 81: 84-88, 1991.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MIRANDA, L. N.; MIELNICZUK, J.; LOBATO, E. Calagem e adubação corretiva. In: MARCHETTI, D.; MACHADO, A. D. (Coord.). Cerrado: uso e manejo. **Anais...** Brasília: Editerra, 1980. p. 523-591.

- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 209 – 215, 2000.
- MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A. & GOMES, A.C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesq. Agropec. Bras.**, 40:563-572, 2005.
- MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; IGUE, T. Adubação verde, calagem e adubação mineral do feijoeiro em solo sob vegetação de cerrado. **Bragantia**, Campinas, SP, v.24, n.26, p.321 – 338, 1965.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. **Organic mobility of surface applied lime under no-tillage**. In: International Meeting of the International Humic Substance Society, 9. IHSS, Adelaide, p.166, 1998.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, n.92, p.1-8, 2000. Encarte.
- NWACHUKU, D.A.; LOGANATHAN, P. The effect of liming on maize yield and soil proprieties in Southern Nigeria. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.22, p.623-639, 1991.
- OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, p.47 – 57, 1996.
- OLIVEIRA, I.P. ; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P.; DUTRA, L.G.; PORTES, T. A.; SILVA, A.E. ; PINHEIRO, B. S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. M. **Sistema barreira: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais**. Goiânia : Embrapa-CNPAP, 1996. 90p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 64).
- OLIVEIRA, I.P.de.; ZIMMERMANN, F.J.P.; WILCOX, G.E.; FAGERIA, N.K. & COSTA, J.G.C. da. Influência de diferentes níveis de fósforo na presença de calagem na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agros.**, Pelotas, v.12, p.55-65. 1977.
- OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.8 p.1079 – 1087, 2002.

- PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. (1998). Mobilização do calcário no solo através de resíduos da aveia. In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da aveia, XVIII. Londrina 1998. **Anais**. Londrina, Instituto Agrônômico do Paraná, p.72-79.
- PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. **Mobilização do calcário no solo através de resíduos da aveia**. In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da aveia, 17. IAPAR, Londrina, p.72 – 79, 1998.
- PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. Calagem em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p.125 – 129.
- PEARSON, R.W. **Soil acidity and liming in the humid tropics**. Cornell, International Agriculture, 1975. 66p. (Bulletin, 30).
- PEREIRA, J.; BURLE, M.L.; RESCK, D.V.S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia, GO. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.140 – 154.
- PEREIRA, J.A.R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (Glycine max (L.) Merrill) no cerrado**. 1990. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.
- PLUCKNETT, D.L. The use of soluble silicates in Hawaii agriculture. **Univ. Queenl. Pap.**, 1:203-223, 1972.
- PORTES, T.A.; OLIVEIRA, I.P.; DUTRA, L.G.; KLUTHCOUSKI, J. **Competição entre capim braquiária e cereais consorciados no sistema barreirão**. Goiânia : Embrapa-CNPAF, 1995. 10p. (Embrapa-CNPAF. Comunicado técnico, 25).
- PÖTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, n.4 , p.675 – 684, 1998.
- PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.A.C.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P. Influencia de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade de batata sob deficiência hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.1651-1659, 2008
- QUAGGIO, J.A. Respostas das culturas à calagem. In: MALAVOLTA, E. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. Cap A, p.123-57.

- QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Agronomic efficiency of limestone with different acid- neutralizing capacity, under field condition. In: SYMPOSIUM ON SOIL-PLANT INTERACTIONS AT LOW Ph, Brisbane, 1995. **Proceedings...**Dordrecht: Kluwer Academics Press, 1995. p.494 – 496.
- QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II - Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.113-118, 1982.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.375-383, 1993.
- QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; BATAGLIA, O.C; RAIJ, B. van & SAKAI, M. Calagem para a sucessão batata-tritcale-milho usando calcários com diferentes teores de magnésio. *Bragantia*, Campinas, 44(1):391-406, 1985.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C.T.; NERY, C.; LAUN, C.R.P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.1, p.28-31, 1977.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, p.45 – 47, 1997 (Boletim Técnico 100).
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Methods used for diagnosis and correction of soil acidity in Brazil: overview. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Proceedings...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 205-214.
- REIS, E.M. & CASA, R.T. **Manual de identificação e controle de doenças do milho**. Passo Fundo. Aldeia norte Editora. 1996.
- 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**, Viçosa, MG, v.24, n.4, p.797 – 805, 2000.

- RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, n.3, p.378 – 382, 1982.
- RODRIGUES FILHO, F.S.O.; GERIN, M.A.N.; IGUE, T.; FEITOSA, C.T.; SANTOS, R.R. Adubação verde e orgânica para o cultivo de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.53, n.1, p.88 – 93, 1996.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.355-362, 2003.
- RUSSEL, E. W. **Soil condition and plant growth**. ed.10.Londres the New York Longman, 1976. p.849.
- SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos campos gerais, centro-sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Castro, 1995. **Anais...** Castro, Fundação ABC, 1995. p.73 – 107.
- SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. **Milheto**: alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. Dourados: EMBRAPA, 1997. (Folheto).
- SALTON, J.C. Opções de safrinha para agregação de renda nos cerrados. In: **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: APDC, 2001. p.189 – 200.
- SANTOS, C.A.; LANÇAS, K.P. Projeto e construção de um penetrômetro hidráulico-eletrônico. **Energia na Agricultura**. Botucatu, v.14, n.4, p.55-61, 1999.
- SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B. ; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.33, n.3, p. 289 – 295, 1998.
- Savant, N.K., G.H. Korndorfer, L.E.Datnoff, and G.H. Snyder.. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **J. Plant Nutr.** 22(12):1853-1903, 1999.
- SCALÉA, M.A. Cultura do milheto e seu uso no plantio direto no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO. FARIAS NETO, A. L.; AMABILE, R. F.; MARTINS NETO, D. A.; YAMASHITA, T.; GOCHO, H. (Ed.). **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p.75 – 82.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo:

I- Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p.427 – 436, 2000.

SEIFFER, N. F. & L. R. L. S. Thiago. 1983. **guandu: planta forrageira para a produção de proteína**. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande. 3 p. (Comunicado Técnico 21).

SILVA, J.A.A.; DONADIO, L.C.; CARLOS, J.A.D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. 37p. (Boletim citrícola, 9).

SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:253-260, 2001.

SILVEIRA, P. M. Influência **do preparo do solo e de rotação de culturas no feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e feijão, 2002. 18 p (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /EMBRAPA Arroz e feijão).

SORATTO, R.P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto**. Botucatu, 2005. 173p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, Apr. 2008a.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:81-90, 2007.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um Latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, Apr. 2008b.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, Apr. 2008c.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, Aug. 2008d.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. de. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 193-198, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Belmont: The Benjamin Cummings, 1991. p.426-449.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.247-250, 1992.

TAYLOR, H.M. Root behavior as affected by soil structure and strength. In: CARSON, E.W. (Ed.) **The plant root and its environment**. Virginia: Virginia Polytechnic and State University, 1971. cap.11, p.271-291.

VIEIRA, R.F. Efeito da calagem sobre a composição química, qualidade fisiológica e desempenho, no campo, de sementes de feijão. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.24, p.409-14. 1989.

VILELA, L.; BARCELLO, A.O.; SOARES, W.V. Restabelecimento da capacidade produtiva das pastagens do cerrado: experiências da Embrapa Cerrados. In: WORKSHOP INTERNACIONAL – PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA E PECUÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DAS SAVANAS SULAMERICANAS, 2001, Santo Antônio de Goiás. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2001. p.94 – 124.

Voronkov, M.G., G.I. Zelchan, and A.Y. Lykevic.. Silicon and life. **Riga**, Zinatne. 1978.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **J. Am. Soc. Agric.**, 28:337-351, 1936.

YOKOYAMA, L.P.; KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, I.P. **Impactos socioeconômicos da tecnologia "sistema barreira"**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa-CNPAF, 1998. 37p. (Embrapa-CNPAF. Boletim de pesquisa, 9).

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archive Biological Technology**, v.42, n.2, 257 – 262, 1999.

8. APÊNDICE

TABELA 23 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Pousio e diferentes corretivos, Botucatu, SP (2008).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R\$)	Total (US\$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Aplicação do Calcário ou Silicato	HM	50	1	50	21,28
Semeadura (2 x)	HM	50	2	100	42,55
Adubação de Cobertura (2x)	HM	50	2	100	42,55
Aplicação de Agroquímico (8x)	HM	80	8	640	272,34
Colheita (2x)	HM	200	2	400	170,21
Subtotal A	*****	*****	*****	1.290,00	548,94
B - MATERIAL					
B 1 - 1º ano					
Calcário Dolomítico	tonelada	29	4	116,00	49,36
Frete Calcário	km/t	0,2	100	20,00	8,51
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,5	180,00	76,60
Frete Silicato	km/t	0,2	500	100,00	42,55
Herbicida Roundup	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Soja	kg	2,4	50	120,00	51,06
Fungicida Vitavax + Thiram	L	30	0,25	7,50	3,19
Adubo 04-20-20	tonelada	1932	0,25	483,00	205,53
Herbicida Bentazone	L	48	0,8	38,40	16,34
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,2	7,42	3,16
Fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin	L	71,92	0,5	35,96	15,30

Subtotal B 1	*****	*****	*****	1.145,88	487,61
B 2 - 2º ano					
Herbicida Roundup	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Milho	Saco	200	1	200,00	85,11
Fungicida Captan	L	14,3	0,25	3,58	1,52
Adubo 08-28-16	tonelada	2.088,00	0,3	626,40	266,55
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,4	14,84	6,31
Herbicida Atrazina	L	9,86	2,5	24,65	10,49
Adubo Uréia	kg	2.198,00	0,15	329,70	140,30
Subtotal B 2	*****	*****	*****	1.236,77	526,28
Subtotal B 1+2	*****	*****	*****	2.382,65	1.013,89
Custo operacional efetivo (C.O.E)	*****	*****	*****	3.672,65	1.562,83
Outras despesas	*****	*****	*****	173,53	73,84
Depreciação de máquinas e equip.	*****	*****	*****	34,71	14,77
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	*****	*****	*****	3.880,89	1.651,44
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)	kg	0,86	3219	2.768,34	1.178,02
Testemunha	kg	0,86	2621	2.254,06	959,17
Calcário	kg	0,86	3448	2.965,28	1.261,82
Silicato	kg	0,86	3589	3.086,54	1.313,42
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)	kg	0,36	6279	2.260,44	961,89
Testemunha	kg	0,36	6222	2.239,92	953,16
Calcário	kg	0,36	7881	2.837,16	1.207,30
Silicato	kg	0,36	8115	2.921,40	1.243,15
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	5.028,78	2.139,91
Testemunha	*****	*****	*****	4.493,98	1.912,33
Calcário	*****	*****	*****	5.802,44	2.469,12
Silicato	*****	*****	*****	6.007,94	2.556,57
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	1.147,90	488,47
Testemunha	*****	*****	*****	813,09	346,00
Calcário	*****	*****	*****	1.921,56	817,68
Silicato	*****	*****	*****	2.127,06	905,13

Valor do dólar comercial = R\$2,35 (19 de dezembro de 2008).

TABELA 24 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Adubo Verde, Botucatu, SP (2008).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R\$)	Total (US\$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Aplicação do Calcário ou Silicato	HM	50	1	50	21,28
Semeadura (4 x)	HM	50	4	200	85,11
Adubação de Cobertura (2x)	HM	50	2	100	42,55
Aplicação de Agroquímico (10x)	HM	80	10	800	340,43
Colheita (2x)	HM	200	2	400	170,21
Subtotal A	*****	*****	*****	1.550,00	659,57
B - MATERIAL					
B 1 - 1º ano					
Calcário Dolomítico	tonelada	29	4	116,00	49,36
Frete Calcário	km/t	0,2	100	20,00	8,51
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,5	180,00	76,60
Frete Silicato	km/t	0,2	500	100,00	42,55
Herbicida Roundup Soja	L	18,8	2	37,60	16,00
Herbicida Roundup Milheto	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Soja	kg	2,4	50	120,00	51,06
Sementes de Milheto	kg	2,5	20	50,00	21,28
Fungicida Vitavax + Thiram Soja	L	30	0,25	7,50	3,19
Adubo 04-20-20 Soja	tonelada	1932	0,25	483,00	205,53
Adubo Sulfato de Amônio Milheto					
Herbicida Bentazone	L	48	0,8	38,40	16,34
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,2	7,42	3,16
Fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin	L	71,92	0,5	35,96	15,30
Subtotal B 1	*****	*****	*****	1.233,48	524,89
B 2 - 2º ano					
Herbicida Roundup Milho	L	18,8	2	37,60	16,00
Herbicida Roundup Guandu	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Milho	Saco	200	1	200,00	85,11
Sementes de Guandu	kg	7,3	30	219,00	93,19
Fungicida Captan	L	14,3	0,25	3,58	1,52
Adubo 08-28-16	tonelada	2.088,00	0,3	626,40	266,55
Adubo Sulfato de Amônio Guandu					
Adubo Uréia Milho	kg	2.198,00	0,15	329,70	140,30
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,4	14,84	6,31
Herbicida Atrazina	L	9,86	2,5	24,65	10,49
Subtotal B 2	*****	*****	*****	1.493,37	635,47
Subtotal B 1+2	*****	*****	*****	2.726,85	1.160,36
Custo operacional efetivo (C.O.E)	*****	*****	*****	4.276,85	1.819,93
Outras despesas	*****	*****	*****	173,53	101,48
Depreciação de máquinas e equip.	*****	*****	*****	34,71	20,30
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	*****	*****	*****	4.485,09	1.908,55
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)	kg	0,86	3219	2.768,34	1.178,02
Testemunha	kg	0,86	2621	2.254,06	959,17

Calcário	kg	0,86	3448	2.965,28	1.261,82
Silicato	kg	0,86	3589	3.086,54	1.313,42
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)	kg	0,36	7653	2.755,08	1.172,37
Testemunha	kg	0,36	6222	2.239,92	953,16
Calcário	kg	0,36	7881	2.837,16	1.207,30
Silicato	kg	0,36	8115	2.921,40	1.243,15
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	5.523,42	2.350,39
Testemunha	*****	*****	*****	4.493,98	1.912,33
Calcário	*****	*****	*****	5.802,44	2.469,12
Silicato	*****	*****	*****	6.007,94	2.556,57
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	1.038,34	441,84
Testemunha	*****	*****	*****	8,89	3,79
Calcário	*****	*****	*****	1.317,36	560,58
Silicato	*****	*****	*****	1.522,86	648,02

Valor do dólar comercial = R\$2,35 (19 de dezembro de 2008).

TABELA 25 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Integração Lavoura-Pecuária, Botucatu, SP (2008).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R\$)	Total (US\$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Aplicação do Calcário ou Silicato	HM	50	1	50	21,28
Semeadura (2 x)	HM	50	3	150	63,83
Adubação de Cobertura (2x)	HM	50	2	100	42,55
Aplicação de Agroquímico (8x)	HM	80	8	640	272,34
Colheita (2x)	HM	200	2	400	170,21
Subtotal A	*****	*****	*****	1.340,00	570,21
B - MATERIAL					
B 1 - 1º ano					
Calcário Dolomítico	tonelada	29	4	116,00	49,36
Frete Calcário	km/t	0,2	100	20,00	8,51
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,5	180,00	76,60
Frete Silicato	km/t	0,2	500	100,00	42,55
Herbicida Roundup Soja	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Soja	kg	2,4	50	120,00	51,06
Sementes de Braquiária	kg	4,38	15	65,70	27,96
Fungicida Vitavax + Thiram Soja	L	30	0,25	7,50	3,19
Adubo 04-20-20 Soja	tonelada	1932	0,25	483,00	205,53
Adubo Sulfato de Amônio Braquiária					
Herbicida Bentazone	L	48	0,8	38,40	16,34
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,2	7,42	3,16
Fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin	L	71,92	0,5	35,96	15,30
Subtotal B 1	*****	*****	*****	1.211,58	515,57
B 2 - 2º ano					
Herbicida Roundup Milho	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Milho	Saco	200	1	200,00	85,11
Sementes de Braquiária	kg	4,38	15	65,70	27,96
Fungicida Captan	L	14,3	0,25	3,58	1,52
Adubo 08-28-16	tonelada	2.088,00	0,3	626,40	266,55
Adubo Sulfato de Amônio Braquiária					
Adubo Uréia Milho	kg	2.198,00	0,15	329,70	140,30
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,4	14,84	6,31
Herbicida Atrazina	L	9,86	2,5	24,65	10,49
Subtotal B 2	*****	*****	*****	1.302,47	554,24
Subtotal B 1+2	*****	*****	*****	2.514,05	1.069,81
Custo operacional efetivo (C.O.E)	*****	*****	*****	3.854,05	1.640,02
Outras despesas	*****	*****	*****	173,53	73,84
Depreciação de máquinas e equip.	*****	*****	*****	34,71	14,77
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	*****	*****	*****	4.062,29	1.728,63
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)	kg	0,86	3219	2.768,34	1.178,02
Testemunha	kg	0,86	2621	2.254,06	959,17
Calcário	kg	0,86	3448	2.965,28	1.261,82
Silicato	kg	0,86	3589	3.086,54	1.313,42

RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)	kg	0,36	7852	2.826,72	1.202,86
Testemunha	kg	0,36	6222	2.239,92	953,16
Calcário	kg	0,36	7881	2.837,16	1.207,30
Silicato	kg	0,36	8115	2.921,40	1.243,15
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	5.595,06	2.380,88
Testemunha	*****	*****	*****	4.493,98	1.912,33
Calcário	*****	*****	*****	5.802,44	2.469,12
Silicato	*****	*****	*****	6.007,94	2.556,57
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	1.532,78	652,24
Testemunha	*****	*****	*****	431,70	183,70
Calcário	*****	*****	*****	1.740,16	740,49
Silicato	*****	*****	*****	1.945,66	827,94

Valor do dólar comercial = R\$2,35 (19 de dezembro de 2008).

TABELA 26 – Descrição detalhada dos custos e receitas para a sucessão Safra – Safrinha, Botucatu, SP (2008).

DESCRIÇÃO	ESPECIF.	V. unit.	Qtd.	Total (R\$)	Total (US\$)
A. OPERAÇÕES MECANIZADAS					
Aplicação do Calcário ou Silicato	HM	50	1	50	21,28
Semeadura (4 x)	HM	50	4	200	85,11
Adubação de Cobertura (4x)	HM	50	4	200	85,11
Aplicação de Agroquímico (10x)	HM	80	10	800	340,43
Colheita (4x)	HM	200	4	800	340,43
Subtotal A	*****	*****	*****	2.050,00	872,34
B - MATERIAL					
B 1 - 1º ano					
Calcário Dolomítico	tonelada	29	4	116,00	49,36
Frete Calcário	km/t	0,2	100	20,00	8,51
Silicato de Ca e Mg	tonelada	40	4,5	180,00	76,60
Frete Silicato	km/t	0,2	500	100,00	42,55
Herbicida Roundup Soja	L	18,8	2	37,60	16,00
Herbicida Roundup Aveia	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Soja	kg	2,4	50	120,00	51,06
Sementes de Aveia	kg	1,3	50	65,00	27,66
Fungicida Vitavax + Thiram Soja	L	30	0,25	7,50	3,19
Adubo 04-20-20 Soja	tonelada	1932	0,25	483,00	205,53
Adubo Ureia Aveia	kg	1.198,00	0,1	119,80	50,98
Herbicida Bentazone	L	48	0,8	38,40	16,34
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,2	7,42	3,16
Fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin	L	71,92	0,5	35,96	15,30
Subtotal B 1	*****	*****	*****	1.368,28	582,25
B 2 - 2º ano					
Herbicida Roundup Milho	L	18,8	2	37,60	16,00
Herbicida Roundup Feijão	L	18,8	2	37,60	16,00
Sementes de Milho	Saco	200	1	200,00	85,11
Sementes de Feijão	kg	8,7	60	609,00	259,15
Fungicida Captan	L	14,3	0,25	3,58	1,52
Adubo 08-28-16	tonelada	2.088,00	0,3	626,40	266,55
Adubo Ureia Feijão	kg	1.198,00	0,1	119,80	50,98
Adubo Uréia Milho	kg	2.198,00	0,15	329,70	140,30
Inseticida Deltametrina	L	37,1	0,4	14,84	6,31
Herbicida Atrazina	L	9,86	2,5	24,65	10,49
Subtotal B 2	*****	*****	*****	2.003,17	852,41
Subtotal B 1+2	*****	*****	*****	3.371,45	1.434,66
Custo operacional efetivo (C.O.E)	*****	*****	*****	5.421,45	2.307,00
Outras despesas	*****	*****	*****	173,53	73,84
Depreciação de máquinas e equip.	*****	*****	*****	34,71	14,77
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	*****	*****	*****	5.629,69	2.395,61
RECEITA BRUTA SISTEMA (soja)	kg	0,86	3219	2.768,34	1.178,02
Testemunha	kg	0,86	2621	2.254,06	959,17
Calcário	kg	0,86	3448	2.965,28	1.261,82

Silicato	kg	0,86	3589	3.086,54	1.313,42
RECEITA BRUTA SISTEMA (milho)	kg	0,36	7839	2.822,04	1.200,87
Testemunha	kg	0,36	6222	2.239,92	953,16
Calcário	kg	0,36	7881	2.837,16	1.207,30
Silicato	kg	0,36	8115	2.921,40	1.243,15
RECEITA BRUTA SISTEMA (aveia)	kg	0,44	2097	922,68	392,63
Testemunha	kg	0,44	1436	631,84	268,87
Calcário	kg	0,44	2435	1.071,40	455,91
Silicato	kg	0,44	2416	1.063,04	452,36
RECEITA BRUTA SISTEMA (feijão)	kg	1,7	655	1.113,50	473,83
Testemunha	kg	1,7	458	778,60	331,32
Calcário	kg	1,7	700	1.190,00	506,38
Silicato	kg	1,7	809	1.375,30	585,23
RECEITA BRUTA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	7.626,56	3.245,34
Testemunha	*****	*****	*****	5.904,42	2.512,52
Calcário	*****	*****	*****	8.063,84	3.431,42
Silicato	*****	*****	*****	8.446,28	3.594,16
RECEITA LIQUIDA TOTAL SISTEMA	*****	*****	*****	1.996,88	849,73
Testemunha	*****	*****	*****	274,74	116,91
Calcário	*****	*****	*****	2.434,16	1.035,81
Silicato	*****	*****	*****	2.816,60	1.198,55

Valor do dólar comercial = R\$2,35 (19 de dezembro de 2008).